



UNIVERSITAS INDONESIA

**ESTIMASI BIAYA ENERGI DAN PERPINDAHAN KALOR
PADA TANGKI *ICE SLURRY GENERATOR* BERBAHAN
DASAR AIR LAUT**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

IRAWAN SENTOSA

07 06 16 6970

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

DEPOK

JULI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

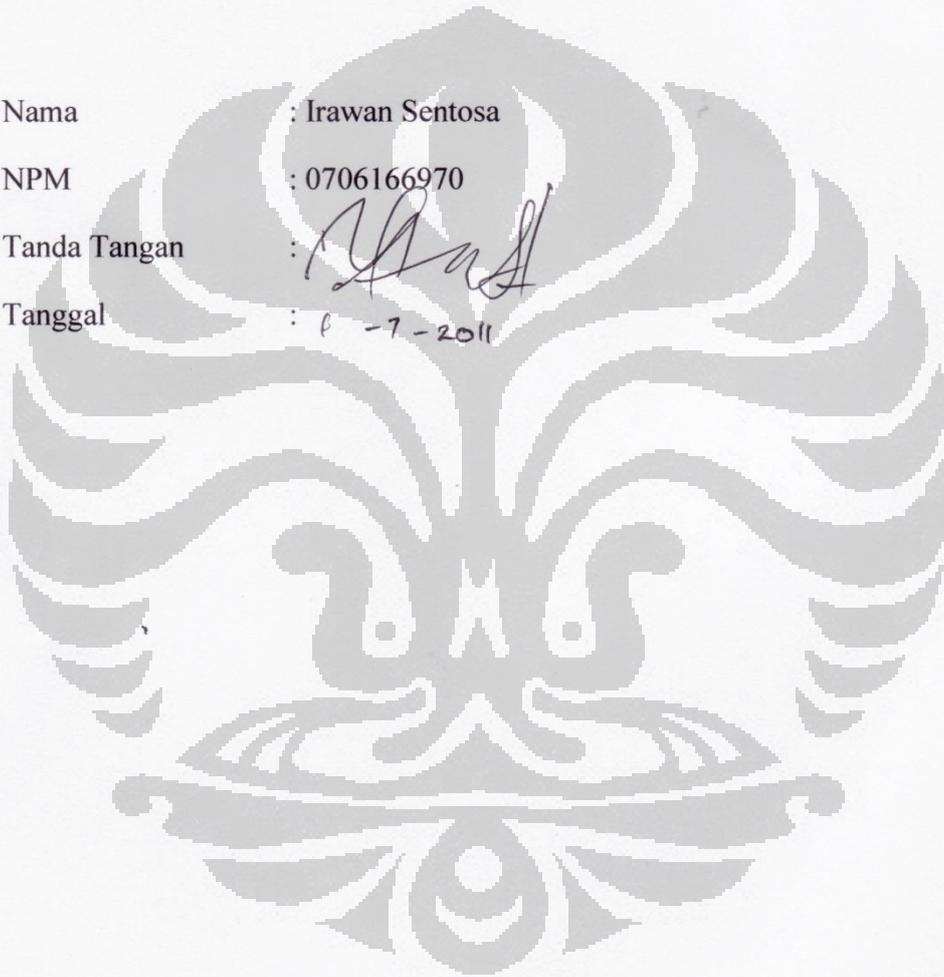
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Irawan Sentosa

NPM : 0706166970

Tanda Tangan :

Tanggal : 6 - 7 - 2011



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Irawan Sentosa
NPM : 0706166970
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Estimasi Biaya Energi dan Perpindahan Kalor
pada Tangki *Ice Slurry Generator* Berbahan
Dasar Air Laut

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Agus S Pamitran S.T., M.Eng.

(.....)

Penguji : Prof. Dr. -Ing. Ir. Nandy Putra.

(.....)

Penguji : Dr. -Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng.

(.....)

Penguji : Ardiyansyah S.T., M.Eng.

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2011

Universitas Indonesia

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan kesempatan dan kekuatan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi yang berjudul “Estimasi Biaya Energi dan Perpindahan Kalor pada Tangki *Ice Slurry Generator* Berbahan Dasar Air Laut” ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Indonesia. Penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu mendoakan dan terus membari semangat kepada saya agar dapat mengejar cita-cita.
2. Pak Agus Sunjarianta Pamitran ST, M.Eng, P.hd sebagai pembimbing yang telah meluangkan waktu dan tenaga dalam menuntun saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Pak Prof. Dr. -Ing. Ir. Nandy Putra, yang telah mengizinkan penulis memodifikasi dan melanjutkan penelitian mengenai *ice slurry generator*.
4. Bapak Dr. -Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng, yang turut membantu memberikan saran dan dorongan dalam pengujian dan pengambilan data di laboratorium.
5. Pak Darwin dan Pak Yulianto yang telah banyak membantu pengerjaan di laboratorium pendingin DTM FTUI.
6. Saudara Arief Setiawan dan semua teman yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Rekan kerja laboratorium refrigerasi Ricky, Freddy, Ridwan, Rizky, Novel, Lucky, Ziko dan semua teman yang telah bersama-sama berjuang dalam pengerjaan tugas akhir.
8. Karyawan DTM FTUI atas kelancaran dan kemudahan yang diberikan selama menuntut ilmu di Universitas Indonesia.

Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi masyarakat dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2011

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irawan Sentosa
NPM : 0706166970
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

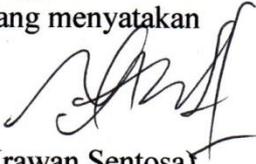
demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ESTIMASI BIAYA ENERGI DAN PERPINDAHAN KALOR
PADA TANGKI *ICE SLURRY GENERATOR* BERBAHAN
DASAR AIR LAUT**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 1 Juli 2011
Yang menyatakan


(Irawan Sentosa)

ABSTRAK

Nama : Irawan Sentosa
Field of Study : Mechanical Engineering
Tittle : Estimasi Biaya Energi dan Perpindahan Kalor pada Tangki *Ice Slurry Generator* Berbahan Dasar Air Laut.

Kebutuhan nelayan untuk dapat menghasilkan kualitas ikan yang baik sangat tergantung dengan metode pendinginan yang dilakukan. Metode pendinginan yang ada saat ini dengan menggunakan es balok dianggap kurang efektif, Hal inidikarenakan bersifat keras dan dapat merusak ikan. Pendinginan menggunakan *ice slurry* berbahan dasar air laut merupakan salah satu solusi yang ditawarkan untuk menghasilkan kualitas ikan lebih segar dan lebih awet. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati perpindahan kalor yang ada pada tangki generator sistem dan mengestimasi biaya energi yang diperlukan untuk menghasilkan *ice slurry*. Pengujian dilakukan pada variasi volume air laut pada 5 liter, 7 liter, 9 liter dan 10 liter. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa biaya energi paling efektif terjadi saat pengujian air laut dengan volume 9 liter pada siang hari dan 10 liter pada malam hari.

Kata kunci : Nelayan, *ice slurry* , air laut, energi

ABSTRACT

Name : Irawan Sentosa

NPM : 0706166970

Judul : Estimation of Energy Cost and Heat Transfer in Tank of *Ice Slurry Generator* Using Sea Water.

Fisheries requirement to produce fish with better quality depend on refrigeration system used. Now , refrigeration system is using a beam ice based pure water regarded not effective because its properties hard so can damage fishes. refrigeration using ice slurry based on sea water is one of solution bergained to produce better quality of fish , so that it will more fresh and long lasting. This experiment is aimed for observe heat transfer in tank generator and estimate energy cost which needed to produced *ice slurry*. Performance test was conducted in several variation of volume (5 ,7,9 and 10 litre). From performance test known that most efective of energy happen when sea water cooled with volume 9 litres on day and 10 litres on night.

Keyword : Fisheries, ice slurry , sea water, energy

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Refrigerasi	6
2.1.1 Komponen Refrigerasi.....	6
2.1.2 Siklus Refrigerasi	10
2.1.3 Performa Sistem Refrigerasi.....	13
2.2 <i>Ice Slurry</i>	13
2.2.1 Termofluida <i>Ice Slurry</i>	14
2.2.1.1 Densitas.....	14
2.2.1.2 Kalor Jenis	15
2.2.1.3 Konduktivitas Termal	16
2.2.1.4 Viskositas.....	16
2.3. Kristalisasi <i>Ice Slurry</i>	17
2.3.1 Proses kristalisasi.....	17
2.3.1.1 Nukleasi.....	18
2.3.1.2 Propagasi/Pertumbuhan kristal.....	20
2.3.1.3. Ukuran Partikel dan Metode Pemisahan <i>Ice Slurry</i>	21
2.4. Air Laut	22
2.4.1 Salinitas Air Laut	22
2.4.2 Densitas Air Laut	25
2.4.3 Titik Beku Air Laut	25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 <i>Ice Slurry</i> Generator	29
3.1.1 Kompresor.....	30
3.1.2 Kondenser	31
3.1.3 Katup Ekspansi.....	32

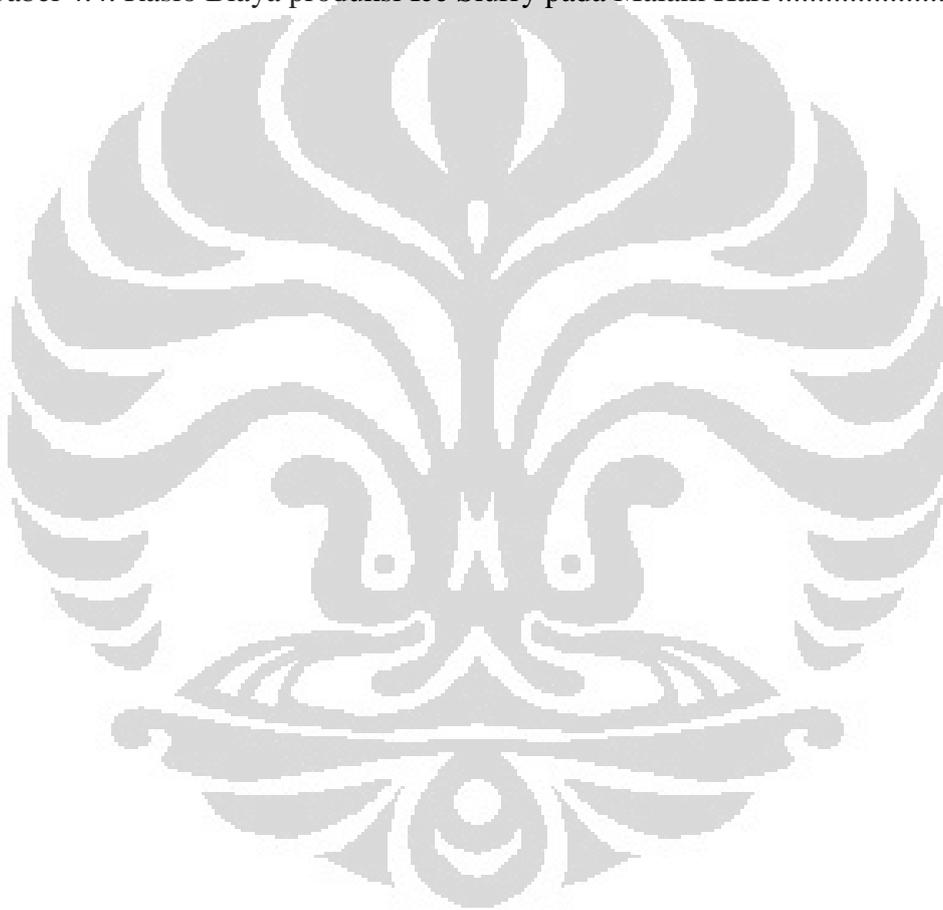
3.1.4	Tangki Generator(Evaporator)	33
3.1.5	<i>Augher Shaft</i>	33
3.1.6	<i>Scraper</i>	34
3.1.7	Tangki Penampung Air Laut	34
3.1.8	Komponen Pengaman.....	35
3.1.8.1.	<i>Hi-lo Pressure Control</i>	35
3.1.8.2.	<i>Liquide Line Filter Drier</i>	36
3.1.8.3.	<i>Sight Glass (Liquide/Moisture Indocator)</i>	37
3.1.9	Motor Listrik	37
3.10	<i>Pulley and Belt</i>	38
3.2	Instalasi <i>Ice Slurry</i> Generator.....	39
3.3	Prosedur Penelitian.....	42
3.3.1	Prosedur Pengambilan Data	42
3.3.2	Variasi Data yang Diambil	44
3.3.3	Alat Ukur yang Digunakan.....	44
3.3.3.1	<i>Pressure Gauge</i>	45
3.3.3.2	Termokopel	45
3.3.3.3	Data Akuisisi(DAQ).....	46
3.3.3.4	<i>Clamp meter/Multi meter</i>	48
3.3.3.5	Tachometer	49
3.3.3.6	Voltmeter	59
BAB 4	HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA	50
4.1	Hasil Pengujian	50
4.1.1	Massa Jenis Air Laut	50
4.1.2	Waktu Pendinginan Air Laut.....	51
4.1.3	Perhitungan Beban Sistem Refrigerasi.....	52
4.1.3.1	Beban Kalor Induksi.....	52
4.1.3.2	Beban Operasi	54
4.1.3.2	Perhitungan Biaya Listrik.....	59
4.2.	Analisa	62
4.2.1	Analisa Perbandingan Waktu Pendinginan	62
4.2.2	Analisa Penggunaan Energi dan Biaya	63
4.2.3	Analisa Kesalahan	65
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	67
6.1	Kesimpulan.....	67
6.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen sistem refrigerasi	7
Gambar 2.2 Grafik hubungan perpindahan kalor dan refrigeran	8
Gambar 2.3 Siklus refrigerasi	10
Gambar 2.4 Subcooling dan superheating	12
Gambar 2.5 Penyebaran salinitas di perairan dunia	23
Gambar 2.6 Komponen pengukuran salinity dengan metode konduktivitas thermal	25
Gambar 2.7 Hubungan densitas terhadap salinitas dan temperatur	26
Gambar 3.1 <i>Ice slurry</i> generator sebelum diperbaiki	29
Gambar 3.2 <i>Ice slurry</i> generator sesudah diperbaiki	30
Gambar 3.3 kompresor hermatik 1.5 HP	31
Gambar 3.4 Kondenser	32
Gambar 3.5 <i>Needle Valve</i>	32
Gambar 3.6 Tangki generator	33
Gambar 3.7 <i>Augher Shaft</i>	33
Gambar 3.8 <i>Scraper</i> penggerus	34
Gambar 3.9 Tangki penampung air laut	35
Gambar 3.10 <i>Hi-lo Pressure control</i>	36
Gambar 3.11 <i>Liquide line filter drier</i>	36
Gambar 3.12 <i>Sight glass</i>	37
Gambar 3.13 Motor Listrik	38
Gambar 3.14 <i>pulley dan v-belt</i>	39
Gambar 3.15 Skema instalasi slurry ice generator	40
Gambar 3.16 <i>Pressure gauge</i> tipe bourdon	45
Gambar 3.17 Termokopel	46
Gambar 3.18 tampilan hasil baca DAQ pada layar komputer	47
Gambar 3.19 Clamp meter	49
Gambar 3.20 Tachometer	49
Gambar 4.1 Grafik Pendinginan Air laut pada Siang Hari	51
Gambar 4.2 Grafik Pendinginan Air laut pada Malam Hari	52
Gambar 4.3 Grafik perbandingan pemakaian energi dengan volume air laut.....	58
Gambar 4.4 Grafik perbandingan volume air laut terhadap waktu pendinginan ..	62
Gambar 4.5 Perbandingan rasio harga	64

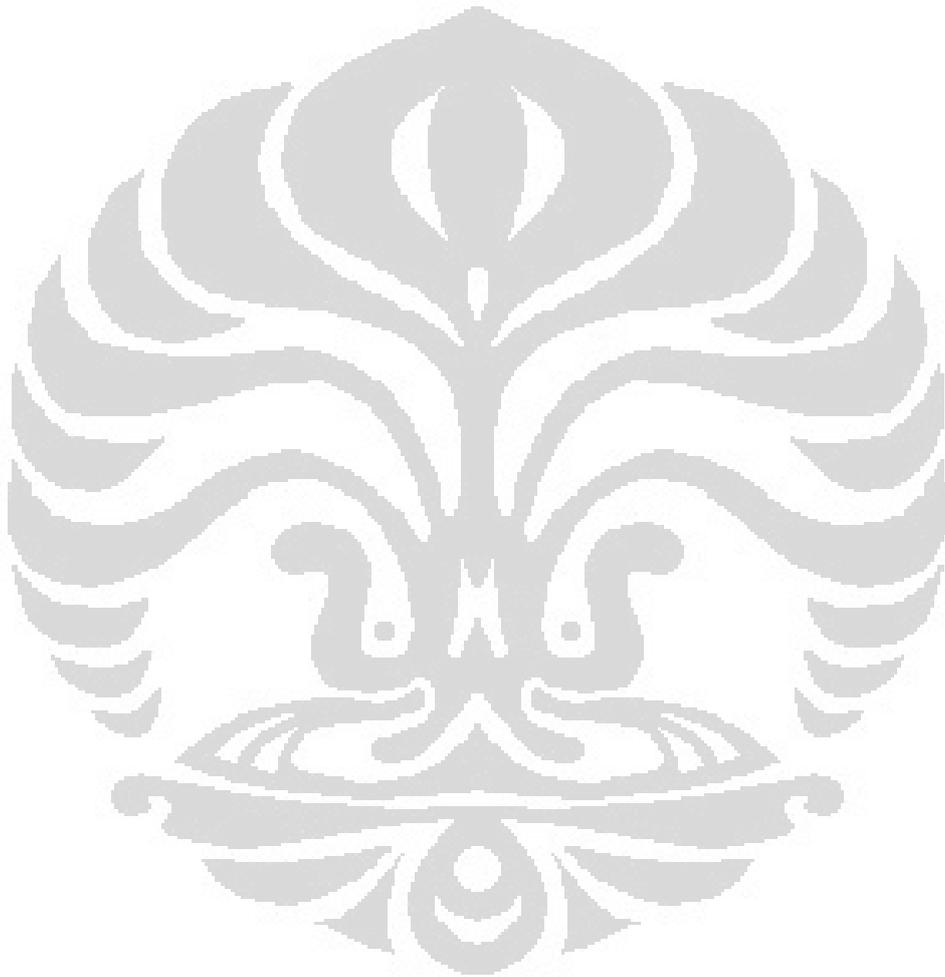
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik refrigeran R22	10
Tabel 2.2. Hubungan temperatur beku air laut terhadap kadar salinitas	23
Tabel 2.3. hubungan salinitas terhadap konduktivitas	24
Tabel 3.1 Perbandingan tipe kompresor yang dipakai	30
Tabel 4.1. Daya Sistem Variasi Volume Ice Slurry pada Siang Hari	57
Tabel 4.2. Daya Sistem Variasi Volume Ice Slurry pada Malam Hari	57
Tabel 4.3. Rasio Biaya produksi Ice Slurry pada Siang Hari.....	61
Tabel 4.4. Rasio Biaya produksi Ice Slurry pada Malam Hari	61



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Kalibrasi Termokopel
Lampiran 2 Data pengujian



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses pendinginan suatu produk dengan menggunakan sistem refrigerasi telah banyak digunakan hingga saat ini. Mesin pendingin hampir mutlak diperlukan di berbagai tempat seperti perkantoran, institusi pendidikan, perindustrian bahkan di lingkungan perumahan . Banyaknya penggunaan mesin pendingin dikarenakan manfaat yang dapat diperoleh oleh masyarakat seperti untuk mendinginkan makanan, pendingin susu, sebagai pendingin lapangan ice skating , penurun kelembaban udara, dan penawar air laut.

Salah satu aspek yang dapat dimanfaatkan secara maksimal di Indonesia adalah penggunaan sistem pendingin sebagai pengawet ikan berbahan dasar air laut. Hal ini dikarenakan kondisi geografis Indonesia dan banyak masyarakat pesisir yang berprofesi sebagai nelayan. Sistem pendingin hasil tangkapan yang ada saat ini masih berupa es batu berbahan dasar air tawar. Sistem ini dianggap tidak memberikan manfaat maksimal dikarenakan es batu bersifat keras dan luas permukaan es relatif kecil. Selain itu juga sistem pengawetannya hanya berasal dari suhu dingin es saja. Hal ini menyebabkan nilai jual tangkapan cenderung menurun saat di jual ke penadah.

Untuk itu diperlukan suatu alternatif sistem pendinginan agar tangkapan ikan nelayan lebih tahan lama dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan sistem pendinginan konvensional. Sehingga dapat meningkatkan nilai jual hasil tangkapan dan memperbaiki keadaan ekonomi nelayan.

Sistem pendingin ikan yang berbahan dasar air laut merupakan salah satu solusi yang dapat di gunakan sebagai pendingin tangkapan nelayan. Hal ini dikarenakan pada air laut terdapat kandungan garam yang bersifat sebagai pengawet alami. Agar sistem pendinginan lebih maksimal maka luas permukaan

es juga harus besar. Cara nya adalah dengan membentuk air laut menjadi serbuk es (*slurry ice*).

Pembentukan es serbuk telah lama dipelajari oleh para ahli. Pada pertengahan abad 19, Masyarakat telah memanfaatkan ice slurry alami berupa salju yang diberi garam sebagai pengawet[4]. Saat ini , di negara maju seperti Eropa dan Jepang telah banyak memanfaatkan ice slurry untuk berbagai industri seperti pada sistem pendinginan gedung, industri bir, pengawet makanan dan pendingin rel kereta api[4].

Berdasarkan hal di atas, terobosan untuk membuat mesin penghasil ice slurry berbahan dasar air laut sebagai pengawet alami bagi tangkapan nelayan di Indonesia penting untuk dilakukan mengingat Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Dengan adanya mesin membuat es serbuk diharapkan sistem pendinginan hasil tangkapan dapat lebih maksimal sehingga hasil tangkapan lebih segar dan meningkatkan harga saat dijual ke penadah.

1.2. Perumusan Masalah

Dalam proses pembuatan mesin pembuatan ice slurry berbahan dasar air laut diperlukan satu unit mesin pendingin dengan performa yang baik untuk mencapai temperatur dimana air laut dapat membeku.

Dalam penelitian ini ,pembuatan es serbuk menggunakan mesin pendingin dengan sistem kompresi uap mekanis yang pada evaporator yang diberi *scraper* sebagai pengaduk dan sumber daya berasal dari *power supply*.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membangun sebuah sistem pendingin pembuat es serbuk berbahan dasar air laut agar dapat digunakan oleh para nelayan dalam memaksimalkan sistem pengawetan hasil tangkapan sehingga lebih segar dan lebih tahan lama dibandingkan dengan sistem pendingin konvensional.

Performa sistem pendinginan kemudian diuji dengan berbagai macam variasi yang meliputi jumlah beban pendinginan, kecepatan putar pengaduk, dan rasio kompresi untuk mendapatkan kerja optimal dari mesin pendingin. Setelah itu

dilakukan juga analisa ekonomi apakah sistem pendinginan yang dihasilkan dapat mengimbangi sistem pendinginan konvensional yang sudah ada.

1.4. Pembatasan Masalah

Agar tidak keluar dari fokus pembahasan, pembahasan dalam skripsi ini dibatasi pada:

1. Satuan dalam penulisan skripsi menggunakan standar Satuan Internasional(SI)
2. Sistem refrigerasi yang digunakan merupakan sistem kompresi uap mekanis dengan kapasitas kompresor 1,5 HP merk dagang Tecumseh (Prancis).
3. Kondenser yang digunakan adalah unit kondenser pada AC window dengan 19 belokan masing-masing panjangnya 42 cm dan diameter pipa 3/8 inch dengan media pendinginan udara.
4. Alat ekspansi menggunakan niddle valve untuk memudahkan pengaturan rasio kompresi.
5. Evaporator yang digunakan adalah jenis *bare-tube* yang dililit pada ruangan pendinginan(tangki generator).
6. Tidak dilakukan pembahasan mengenai reaksi kimia yang terjadi pada campuran bahan baku pembuat *ice slurry*.
7. Arus yang digunakan sebagai *input power* berasal dari arus AC.

1.5. Metodologi Penelitian

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Study literatur tentang sistem pendingin dan *ice slurry*
2. Membangun ice slurry generator dengan sistem pendinginan evaporator tipe *bare tube* yang dilengkapi tampilan data dan alat ukur.
3. Melakukan kalibrasi pada termokopel sebagai alat ukur temperatur yang digunakan.
4. Memasang alat ukur yang sudah terkalibrasi ke dalam sistem yang dibangun.

5. Melakukan *running test* pada generator pendingin dengan air laut sebagai bahan baku pembuat *ice slurry*.
6. Analisa terhadap hasil *running test* dan membandingkan .
7. Analisa energi dan biaya terhadap hasil kerja *slurry ice* generator.
8. Melakukan kesimpulan dan saran kedepannya agar mendapat hasil penelitian yang lebih maksimal.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan menurut bab-bab sebagai berikut :

1. BAB 1 PENDAHULUAN

BAB I menjelaskan tentang latar belakang diadakannya penelitian dan dibuatnya skripsi ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan.

2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang berbagai teori yang mendasari penelitian seperti sistem refrigerasi , *ice slurry* , sifat termofluida *ice slurry*, karakter air laut, beban pendinginan dalam sistem refrigerasi dan pengaruh scraper dalam proses produksi *ice slurry*. Tinjauan pustaka diambil dari beberapa sumber seperti jurnal, buku dan situs internet.

3. BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

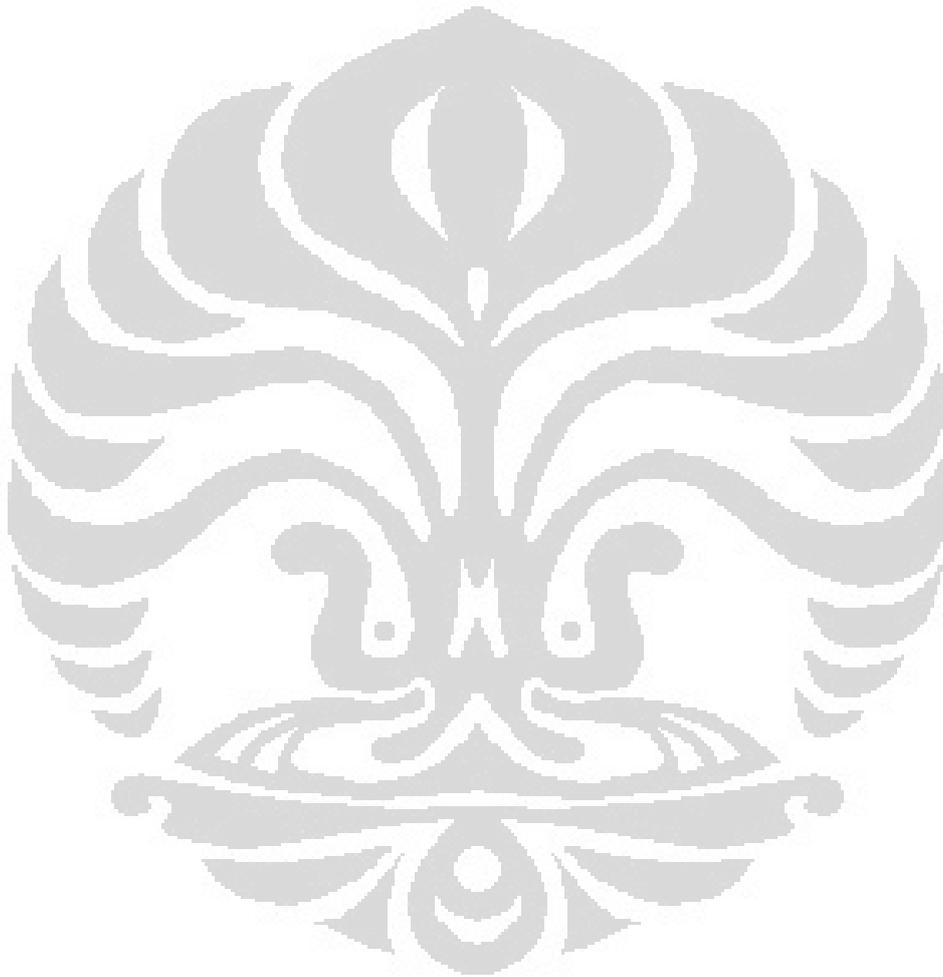
Pada bab ini berisi tentang proses instalasi *ice slurry* generator mulai dari komponen-komponen yang dibutuhkan untuk instalasi hingga proses pembuatan *slurry ice* generator. Pada bagian ini juga menjelaskan bagaimana proses pengujian system pendinginan air laut mulai dari awal hingga menjadi *ice slurry* dan cara pengukuran parameter yang dibutuhkan .

4. BAB 5 HASIL DAN ANALISA

Hasil dari perhitungan akan ditampilkan pada bab ini, selanjutnya dari hasil pengujian pada system pendingin akan dilakukan perhitungan dan dianalisa dari aspek energi dan biaya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian akhir dari penelitian ini adalah kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan apakah sistem masih sudah berjalan sesuai hipotesis atau masih bisa ditingkatkan lagi performanya. Selanjutnya saran apa yang perlu dilakukan untuk meningkatkan performa dari sistem.



BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Refrigerasi

Refrigerasi adalah metode pengkondisian temperatur ruangan agar berada di bawah temperatur lingkungan. Refrigerasi dapat juga didefinisikan perpindahan panas dari temperatur rendah ke temperatur yang lebih tinggi . Metode Refrigerasi menggunakan bantuan refrigeran yang bertindak sebagai media penyerap panas dengan cara merubah fasanya. Refrigerant adalah suatu zat yang mudah berubah fasanya dari cair menjadi uap dan sebaliknya apabila kondisi tekanan dan temperaturnya diubah.

2.1.1. Komponen Refrigerasi

Terdapat beberapa komponen utama yang mendukung kinerja sistem refrigerasi yaitu evaporator, kondenser, katup ekspansi, kompresor dan refrigeran.

a. Kompresor

Kompresor merupakan komponen utama dari mesin pendingin sistem kompresi uap. Tujuannya adalah menerima refrigerant bertekanan rendah yang berasal dari evaporator dan mengkompresinya menjadi tekanan tinggi untuk dialirkan ke kondenser.

b. Kondenser

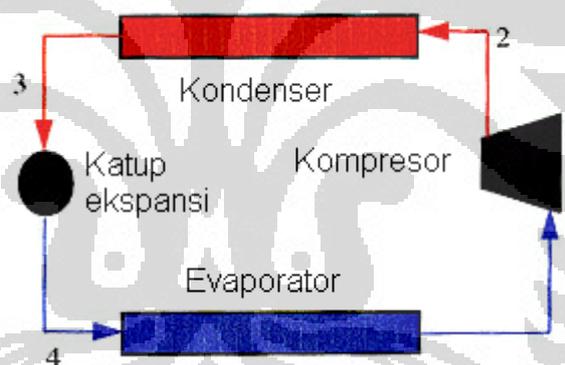
Fungsi utama dari kondenser adalah untuk mencairkan refrigeran dengan menurunkan temperatur refrigerant yang keluar dari kompresor karena masih memiliki tekanan dan temperatur yang tinggi. Medium pendingin pada kondensor dapat berupa udara atau air.

c. Katup Ekspansi

Katup ekspansi adalah komponen yang berfungsi sebagai penurun tekanan pada sistem pendingin sehingga diperoleh temperatur yang rendah untuk mendinginkan media di evaporator. Tujuan lainnya adalah agar diperoleh efisiensi siklus refrigerasi yang maksimal.

Jumlah refrigerant yang mengalir di evaporator sesuai dengan beban pendinginan yang ada sehingga saat keluar dari evaporator refrigerant tidak terlalu kering maupun tidak terlalu basah. Refrigerant yang terlalu kering atau terlalu basah dapat membuat kompresor cepat rusak.

Untuk mencapai pendinginan yang maksimal, pada siklus kompresi uap biasanya katup ekspansi ditempatkan sedekat mungkin dengan evaporator karena temperatur rendah yang keluar dari katup dapat langsung mendinginkan ruang evaporator tanpa harus terbang ke media lain. Berikut adalah susunan penempatan antara katup ekspansi, evaporator dan kompresor:



Gambar 2.1. komponen sistem refrigerasi

d. Evaporator

Evaporator merupakan alat penukar panas yang menerima temperatur rendah yang berasal dari katup ekspansi. Tujuan dari evaporator adalah mendinginkan media sekitarnya. Kalor yang berasal dari evaporator akan diserap oleh refrigerant yang memiliki temperatur yang lebih rendah. Banyak kalor yang diserap oleh refrigerant dapat di formulasikan sebagai berikut:

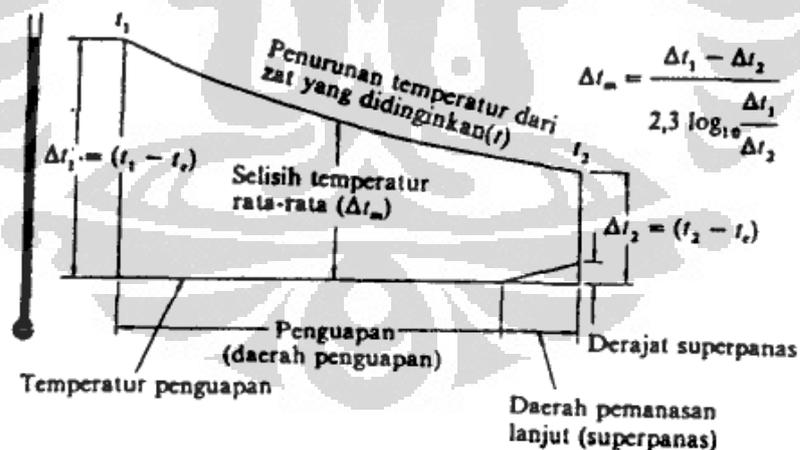
$$Q = U.A.\Delta t_m \quad (2.1)$$

Dengan:

- Q = Kalor yang diserap oleh refrigerant (Joule/Jam)
 U = Koefisien perpindahan kalor (Joule/m². Jam. Kelvin)
 A = Luas permukaan evaporator (m²)
 Δt_m = Perbedaan temperatur rata-rata (Kelvin)

Kemampuan evaporator ditentukan oleh kemampuan laju perpindahan kalor yang dapat terjadi dalam evaporator itu sendiri. Artinya semakin besar koefisien perpindahan kalor, maka luas bidang pendingin yang diperlukan akan semakin kecil. Selain itu, semakin banyak benda yang akan didinginkan menempel dekat bidang pendingin maka koefisien perpindahan kalornya makin besar.

Distribusi temperatur antara dinding evaporator dan refrigerant dihitung berdasarkan perbedaan temperatur rata-rata logaritmik atau LMTD (*log mean temperatur different*). Semakin besar nilai LMTD maka ukuran tabung pendingin akan makin kecil begitupun sebaliknya. Grafik hubungan perpindahan kalor antara evaporator dan refrigerant adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2. grafik hubungan perpindahan kalor dan refrigeran

e. Refrigerant

Refrigerant merupakan fluida utama yang bekerja sebagai pendingin dalam sistem refrigerasi. Hal ini karena refrigerant dapat berubah fasa (menguap dan

mencair) pada temperatur dan tekanan yang rendah. Karakter yang baik yang harus dipenuhi oleh refrigerant yaitu [5]:

1) Sifat Termodinamika

- a. Tekanan (*gauge*) evaporasi positif, artinya tekanan rendah penguapan harus diatas tekanan atmosfer untuk menghindari masuknya udara luar ke sistem.
- b. Tekanan kondensasi rendah untuk meminimalisasi peralatan yang digunakan pada sisi tekanan tinggi.
- c. Temperatur kritis tinggi, untuk mencegah tekanan operasi berlebihan.
- d. Kalor laten penguapan tinggi agar efek pendinginannya tinggi
- e. Koefisien perpindahan kalor tinggi untuk mereduksi luas permukaan yang dibutuhkan pada alat penukar kalor.
- f. Viskositas rendah, untuk meminimalisasi tekanan jatuh pada pemipaan, penukar kalor dan komponen lainnya.

2) Sifat kimia

- a. Reaktivitas rendah untuk mencegah reaksi dengan material pada sistem dan tidak korosif terhadap air.
- b. Stabil, mampu mempertahankan ikatan kimia pada kondisi operasi

3) Keamanan dan pengaruh terhadap lingkungan

- a. Tidak beracun (*non toxicity*), aman bagi mahluk hidup jika terlepas ke udara bebas
- b. Tidak mudah terbakar (*nonflammability*), tidak mudah terbakar dan memicu kebakaran pada konsentrasi tertentu di udara.
- c. Potensi kerusakan ozon (*Ozone depletion potensial, ODP*) rendah
- d. Potensi pemanasan global (*Global Warming Potensial, GWP*) rendah

4) Sifat Lainnya

- a. Mudah dalam deteksi kebocoran sehingga mudah untuk diperbaiki.
- b. Murah, agar harganya terjangkau oleh masyarakat

- c. Kemampuan berikatan dengan pelumas dan mudah untuk terpisah kembali.

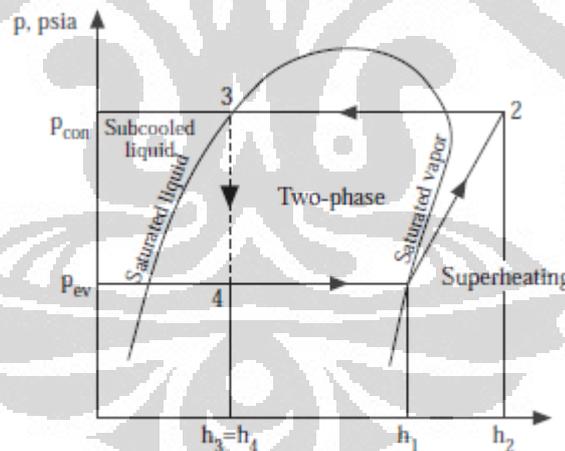
Saat ini, refrigerant yang masih banyak digunakan adalah refrigerant jenis R22. Properties yang dimiliki oleh R22 seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.1. Karakteristik refrigeran R22

Golongan	<i>Hydrochlorofluorocarbons(HCFC)</i>
Nama Kimia	Chlorodifluoromethane(CHCF ₂)
Massa Molekul	86,48 gr/mol
Titik didih	-40,8 °C (-41,4 °F)
Titik Kritis(P/T)	4977,4 kPa / 96 ° C
ODP	0,05 (R-11= 1,0)
GWP	0,4 (R-11 = 1,0)

2.1.2. Siklus Refrigerasi

Siklus refrigerasi ideal digambarkan dalam kurva p-h dibawah ini:



Gambar 2.3.siklus refrigerasi

- Proses kompresi isentropik (1-2)

Refrigerant yang keluar dari evaporator berada pada keadaan uap jenuh akan dimampatkan secara isentropik di kompresor hingga keadaan uap jenuh . Pada proses kompresi , temperatur refrigerant akan naik melebihi temperatur lingkungan sekitar. Kerja kompresor dituliskan dengan persamaan:

$$W_c = m \times (h_2 - h_1) \quad (2.2)$$

Dengan :

W_c = Daya kompresor (Watt)

•

m = Laju aliran refrigerant (kg/s)

h_1 = Entalphi refrigerant masuk kompresor (kJ/kg)

h_2 = Entalphi refrigerant keluar kompresor (kJ/kg)

- Proses kondensasi isothermal (2-3)

Pada proses ini refrigerant yang panas dan memiliki fasa uap di ubah mencari fasa cair di kondenser. Panas latent dari proses kondensasi di buang ke lingkungan sekitar. Proses ini berlangsung pada tekanan konstan . Besar energi kalor yang dibuang ke lingkungan sebesar :

$$Q_k = m \times (h_3 - h_2) \quad (2.3)$$

Dengan :

Q_k = Kalor yang dilepaskan kondenser (Watt)

m = Laju aliran refrigerant (kg/s)

h_2 = entalphi refrigerant keluar kompresor (kJ/kg)

h_3 = Entalphi refrigerant keluar kondenser (kJ/kg)

- Proses penurunan tekanan (3-4)

Refrigerant yang meninggalkan kondenser dalam keadaan cair akan diturunkan tekananya saat melalui katup ekspansi. Proses ini berlangsung pada entalphi tetap ($h_3=h_4$). Penurunan tekanan ini akan menyebabkan temperatur refrigerant turun hingga dibawah temperatur lingkungan. Pada proses ini refrigerant mengalami proses adiabatik irreversibel, artinya refrigerant mengalami titik tanpa distribusi yang seragam. Sehingga tidak ada jalur nyata yang dapat menggambarkan proses ini. Garis 3-4 hanya menggambarkan bahwa proses itu bermula dari titik 3 dan berakhir pada titik 4.

- Proses Evaporasi (4-1)

Proses evaporasi terjadi di dalam evaporator , pada tahap ini refrigerant yang memiliki temperatur lebih rendah dari lingkungan akan mendinginkan lingkungan. Hal ini menyebabkan refrigerant akan mengalami penguapan akibat menyerap panas lingkungan. Kalor lingkungan yang diserap oleh refrigerant ini disebut dengan efek refrigrasi (*refrigeration effect*, RE). RE dirumuskan dengan:

$$Q_e = m \times (h_4 - h_1) \quad (2.4)$$

Dengan:

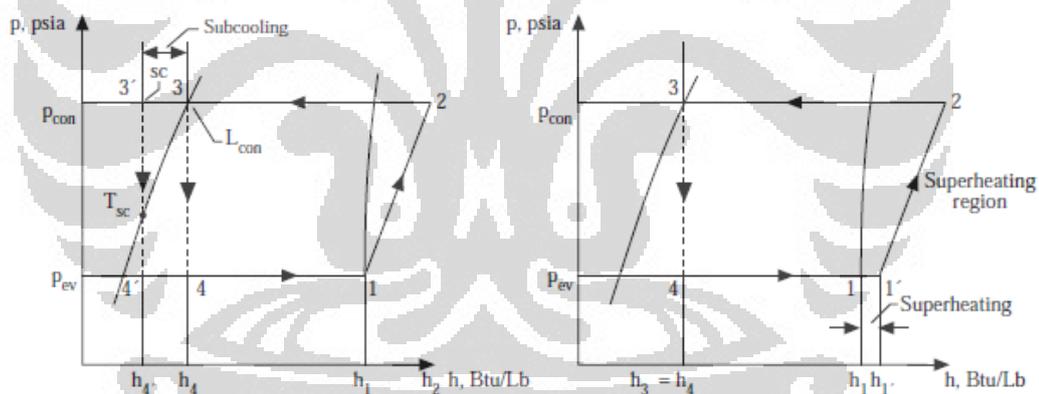
Q_e = Kalor yang diserap evaporator dari lingkungan (Watt)

m = laju aliran refrigerant(kg/s)

h_4 = Entalphi refrigerant masuk evaporator (kJ/kg)

h_1 = Entalphi refirgerant masuk kompresor (kJ/kg)

- *Subcooled dan superheating*



Gambar 2.4. subcooling dan superheating

Pada siklus refrigrasi aktual sering terjadi peristiwa *subcooled* dan *superheating*. *Subcooled* adalah peristiwa penurunan temperatur hingga dibawah temperatur saturasi pada tekanan tetap[7]. Peristiwa *sub cooled* terlihat seperti pada grafik diatas. Manfaat dari subcooled adalah memperbesar efek pendinginan per kg refrigerant yang di alirkan, memperkecil kapasitas volume kompresor dan memperbesar COP dari sistem refrigrasi.

Superheating adalah penamasan dengan memberikan sejumlah kalor sensibel pada uap refrigerant sebelum masuk ke kompresor setelah mengalami

perubahan fasa pada evaporator. tujuannya adalah untuk memastikan refrigerant yang masuk ke kompresor sudah dalam fasa uap sehingga tidak merusak kompresor.

2.1.3. Performa Sistem Refrigerasi

Besarnya efektifitas (performance) dari sistem refrigerasi disebut dengan Coefisient of Performance (COP) yang dirumuskan:

$$\text{COP} = \frac{\text{Efek pendinginan yang diperoleh}}{\text{Energi input dari luar}}$$

Untuk sistem refrigerasi uap mekanis nilai COP dirumuskan dengan:

$$\text{COP} = \frac{Q_e}{W_c} \quad (2.5)$$

Cara menghitung nilai kerja kompresor (W_c) adalah dengan menghitung arus rata-rata yang mengalir pada kompresor yang diukur saat pengambilan data, dikalikan dengan tegangan listrik dari sumber listrik.

$$W_c = V \times I \times \cos \phi \quad (2.6)$$

Dengan

V_{efk} = Tegangan listrik PLN (220 volt)

I = Arus rata-rata yang mengalir di kompresor (Ampere)

$\cos \phi$ = Faktor derajat tegangan

Dengan mensubstitusi persamaan diatas maka dapat diperoleh laju refrigerant yang mengalir di dalam sistem yaitu sebesar :

$$m (h_2 - h_1) = V \times I \times \cos \phi \quad (2.7)$$

$$m = \frac{v \times I \times \cos \phi}{(h_2 - h_1)} \quad (2.8)$$

2.2. Ice Slurry

Ice slurry adalah larutan cair dengan partikel-partikel es yang memiliki diameter kurang dari atau sama dengan 1mm yang dapat dialirkan menggunakan pompa [19]. *Ice slurry* terbentuk dari proses kristalisasi es yang merupakan fungsi dari temperatur. Secara umum *ice slurry* memiliki sifat sebagai berikut[19]:

1. Temperatur larutan dan padatan dapat mencapai $-15 \text{ }^\circ\text{C}$
2. Dapat terbuat dari larutan *brine* yang dipakai dibawah titik bekunya.

3. Dapat dipakai pada beban pendinginan dengan temperatur antara $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.
4. *Ice slurry* menjadikan larutan bersifat dan perilaku yang berbeda dengan *brine* yang melarutkannya.
5. Merupakan fluida 2 fasa non-Newtonian pada fraksi es yang tinggi dan mempunyai sifat termofisika yang berbeda karena ada pada kondisi *pseudo-homogeneous*.
6. Memerlukan perhitungan pemipaan, pompa, *heat exchanger*, dan *storage tank* yang berbeda.

Ice slurry banyak digunakan sebagai media pendingin dengan alasan:

1. Fluiditas *ice slurry* dengan luas permukaan yang efisien antara es dan media yang didinginkan menghasilkan efek pendinginan lebih sehingga proses pendinginan berlangsung lebih cepat.
2. Aman dalam penggunaan karena tidak beracun
3. Temperatur produk yang didinginkan dengan menggunakan media *ice slurry* dapat mencapai $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
4. Semua refrigerant dapat digunakan dalam membuat *ice slurry*

2.2.1. Thermofluida Ice Slurry

Sifat thermofluida dari *ice slurry* sangat memengaruhi kinerja dalam mendinginkan suatu produk. Sifat tersebut meliputi kapasitas panas yang dapat diserap, viskositas, konduktivitas, densitas dan entalpi. Idealnya, diinginkan agar *ice slurry* memiliki densitas yang tinggi, kapasitas kalor yang besar dan viskositas yang rendah agar dengan volume yang kecil, *ice slurry* dapat menyimpan menyerap panas yang besar.

2.2.1.1. Densitas

Densitas *ice slurry* diperoleh dengan menambahkan fraksi massa densitas es murni dan densitas larutan, secara matematis dirumuskan:

$$\rho_{is} = \frac{1}{\left[\frac{\phi_{es}}{\rho_{es}} + \frac{(1-\phi_{es})}{\rho_{es}} \right]} \quad (2.9)$$

dimana :

ρ_{is} = Densitas ice slurry

ρ_i = densitas es

ρ_{is} = densitas campuran

untuk mendapatkan nilai densitas es murni dibawah temperatur 0°C dapat diestimasi dengan persamaan:

$$\rho_{es} = \rho_0 + aT \quad (2.10)$$

dimana :

ρ_0 = Densitas es pada temperatur 0°C , 917 kg/m^3

$a = 1,73 \times 10^{-4}$

T_{sol} = Temperatur *ice slurry* ($^\circ\text{C}$)

2.2.1.2. Kalor Jenis

Persamaan untuk kalor jenis didapat dari gabungan antara enthalpi es dan enthalpi larutan:

$$h_{is} = \phi_{es} (-h_{es}) + (1 - \phi_{es}) \cdot h_{sol}$$

$$h_{is} = \phi_{es} (-h_{es}\{0^\circ\text{C}\} + \int_0^T -c_{p,es} dT) + (1 - \phi_{es})(h_{liq}\{0^\circ\text{C}\} + \int_0^T -c_{p,es} dT) \quad (2.11)$$

sehingga ;

$$c_{p,es} = \left(\frac{\delta h}{\delta T} \right)_p = \frac{\delta h}{\delta T} (-h_{es}\{0^\circ\text{C}\} + \int_0^T (-c_{p,es} - c_{p,sol}) dT - h_{sol}\{0^\circ\text{C}\}) + \phi_{es} c_{p,es} + (1 - \phi_{es}) \cdot c_{p,sol} \quad (2.12)$$

Dengan nilai $h_{es}\{0^\circ\text{C}\} = 333430 \text{ J/kg}$

Dan kalor jenis es (J/kgK) untuk temperatur -100°C hingga 0.01°C sebesar:

$$c_{p,es} = 2106,9 + 7,5982 T + 3,2628 \times 10^{-3} T^2 \quad (2.13)$$

2.2.1.3. Konduktivitas *Thermal*

Untuk mengestimasi nilai konduktivitas thermal pada ice slurry, pendekatan yang digunakan adalah model Taref(1940) untuk campuran cair-padatan:

$$k_{is} = k_{sol} \left(\frac{2k_{sol} + k_{es} - \xi_{es}(k_{sol} - k_{es})}{2k_{sol} + k_{es} + \xi_{es}(k_{sol} - k_{es})} \right) \quad (2.14)$$

dengan :

k_{is} = konduktivitas thermal ice slurry (W/mK)

k_{es} = konduktivitaas termal es (W/mK)

k_{sol} = konduktivitas larutan (W/mK)

ξ_{es} = fraksi volume es

Nilai konduktivitas es es (k_{es}) untuk jangkauan temperatur $-100^{\circ}C$ sampai $0.01^{\circ}C$ adalah:

$$k_{es} = 2.23 - 9.7 \times 10^{-3} \cdot T + 4.7 \times 10^{-5} \cdot T^2 \quad (2.15)$$

2.2.1.4 Viskositas

Salah satu metode yang paling akurat dalam menentukan viskositas ice slurry model yang dibuat oleh Thomas(1985):

$$\mu_{is} = \mu_{sol} \left(1 + 2.5 \xi_{es} - 10.05 \xi_{es}^2 + 0.00273 e^{(16.6 \xi_{es})} \right) \quad (2.16)$$

dimana:

μ_{is} = Viskositas ice slurry (Pa.s)

μ_{sol} = Viskositas larutan (Pa.s)

dalam aplikasinya, setelah di uji oleh Kauffeld (1999) ,model ini menunjukkan error yang cukup besar untuk fraksi volume es di atas 0.2, diperkirakan pada fraksi diatas 0.2 fluida *ice slurry* bukan lagi fluida newtonian. Model untuk fluida

non-newtonian untuk *ice slurry* diajukan oleh Lakhdar dan disempurnakan oleh Guilpart et al, ia memodelkan fluida non-newtonian untuk *ice slurry* sebagai Oswalt tipe Power law:

$$\mu_{\text{app}} = \frac{\tau}{\left(\frac{dv}{dy}\right)} = K (\phi_{\text{es}}) \left(\frac{dv}{dy}\right)^{n(\phi_{\text{es}})-1} \quad (2.17)$$

dengan :

$$n(\phi_{\text{es}}) = 0.263 + \frac{0.737}{1 + \left(\frac{\phi_{\text{es}}}{0.112}\right)^{8.34}} ; \quad 0 < \phi_{\text{es}} < 0.28$$

$$K(\phi_{\text{es}}) = e^{(-5.441 + 832.4 \phi_{\text{es}}^{2.5})} ; \quad 0 < \phi_{\text{es}} < 0.13$$

$$K(\phi_{\text{es}}) = e^{(-6.227 + 16.847 \phi_{\text{es}}^{0.5})} ; \quad 0.13 < \phi_{\text{es}} < 0.28$$

2.3. Kristalisasi Ice Slurry

Istilah Kristalisasi *ice slurry* adalah proses pembentukan butiran-butiran dari air laut menjadi *ice slurry* dimana terdapat fenomena termo-fisik yang menyebabkan partikel air mengendap karena proses pendinginan melewati titik jenuh. Proses kristalisasi terdiri dari dua tahap yaitu nukleasi dan propagasi/pertumbuhan kristal (*crystal growth*). Interaksi antara nukleasi dan pertumbuhan kristal menentukan karakteristik kristal yang terbentuk seperti ukuran, distribusi dan morfologi dari kristal[18].

Ukuran dari kristal sangat dipengaruhi oleh laju kristalisasi, proses pendinginan yang cepat akan menghasilkan ukuran kristal yang kecil dan jumlah yang banyak. Sebaliknya, proses pendinginan yang lambat akan menyebabkan ukuran kristal lebih besar dengan jumlah yang sedikit.

2.3.1. Proses kristalisasi

Model yang menggambarkan peristiwa bergantung pada faktor Gibbs free energy, aktivitas molekular, properti permukaan, penomena perpindahan kalor dan massa.

2.3.1.1. Nukleasi

Nukleasi adalah peristiwa pembentukan inti kristal (nuklei) yang mendahului peristiwa kristalisasi. Nukleasi merupakan hasil dari status metastabil yang terjadi setelah supersaturasi akibat dari penurunan suhu larutan[18]. Nukleasi dapat terjadi secara homogen atau heterogen. Nukleasi homogen terjadi dimana molekul bahan saling menyusun dan membentuk nuklei tanpa adanya keberadaan zat asing. Nukleasi heterogen terjadi akibat keberadaan zat asing (karena ketidak-murnian). Zat asing tersebut menyebabkan penurunan energi yang dibutuhkan untuk pembentukan nucleus kritis dan karenanya dapat memfasilitasi terbentuknya kristal.

Peranan supersaturasi atau *super-cooling* lebih sedikit pada nukleasi heterogen dibandingkan pada nukleasi homogen. Terdapat dua tipe nukleasi yaitu nukleasi primer dan nukleasi sekunder.

- Nukleasi primer

Nukleasi primer adalah peristiwa awal pembentukan inti kristal (nuklei) yang terbentuk secara spontan. Pada nukleasi primer, pembentukan kristal tidak dipengaruhi oleh kristal lain. Total energi yang dibutuhkan untuk membentuk nukleasi primer adalah energi untuk membentuk permukaan kristal dan energi yang dibutuhkan untuk membentuk volume kristal. Model dari energi yang dibutuhkan berdasarkan penelitian (mullin,2001) adalah:

$$\Delta G = \Delta G_s + \Delta G_v \quad (2.18)$$

$$\Delta G = 4\pi r^2 \sigma + \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v \quad (2.19)$$

Dimana :

- ΔG = kelebihan energi total ,J
- ΔG_s = kelebihan energi bebas pada permukaan,J
- ΔG_v = kelebihan energi bebas pada volume,J
- ΔG_v = perubahan energi bebas persatuan volume, J m⁻³
- σ = energi permukaan partikel per unit area, J m²
- r = radius partikel kristal, m

Jumlah nuklei stabil yang terbentuk digambarkan ke dalam persamaan (Gibbs, 1948; Kashchiev & van Rosmalen, 2003; Mersmann, 2001a; Mullin, 2001):

$$B = A \exp\left(\frac{\Delta G_c}{kT}\right) \quad (2.20)$$

$$A = z f^* C_0 \quad (2.21)$$

Dimana:

- k = konstanta Boltzmann, 1.38×10^{-23} J/K
- T = Temperatur, K
- f^* = frekuensi monomer yang ditambahkan ke nuklei
- C_0 = konsentrasi situs nukleasi
- z = faktor ketidakstabilan
- ΔG_c = Energi bebas kritis, J

Persamaan lain yang dapat digunakan untuk menggambarkan peristiwa nukleasi diberikan oleh Zharitsky, 2006 sebagai berikut:

$$B = C_1 T \left(\frac{-C_2 T_f^2}{T^2 \Delta T_s} \right) \quad (2.22)$$

Dengan :

- C_1 dan C_2 = koefisien yang bergantung pada tipe nukleasi yang terjadi.
- ΔT = Temperatur sistem, K
- ΔT_s = Supercooling, K
- ΔT_f = Temperatur pendinginan awal, K

- Nukleasi sekunder

Nukleasi sekunder terjadi akibat telah adanya kristal zat yang memang diinginkan untuk mengkristal. Nukleasi sekunder membutuhkan gaya dari luar, seperti pengadukan terhadap larutan jenuh. Nukleasi sekunder dapat juga terjadi sebagai akibat pengurangan ukuran kristal secara mekanis, yang dapat terjadi karena adalah gaya regang. Pada nukleasi sekunder, kristal kecil dapat membesar dan melebihi ukuran kritis dari nucleus stabil [18]. Laju pembentukan permukaan nukleasi sekunder adalah sebagai berikut (Mersmann, 2001):

$$B_s = \frac{D_{AB}}{d_m^4} \text{Exp} \left(\pi \frac{-\gamma_{CL}^2 d_m^4}{KT^2 v \ln S_{met,s}} \right) \quad (2.23)$$

Dengan :

B_s = laju pembentukan permukaan nukleasi sekunder,

D_{AB} = Difusivitas, m^2/s

d_m = Diameter molekul, m

γ_{CL} = Tegangan permukaan, N/m

v = Jumlah molekul

S_{met} = supersaturasi relative

2.3.1.2. Propagasi (pertumbuhan kristal)

Langkah selanjutnya dari nukleasi adalah pertumbuhan kristal. Kristal dapat bertumbuh jika molekul-molekul dapat berdifusi ke permukaan nucleus yang sedang bertumbuh. Laju proses pertumbuhan ini sangat sensitive terhadap tingkat super-jenuh dan super dingin, suhu, dan keberadaan zat asing [18].

Untuk peristiwa kristalisasi penggerak (*driving force*) berupa penurunan temperatur seperti proses pengkristalan air, faktor yang dikontrol adalah laju perpindahan kalor (mullin, 2001). Perpindahan kalor pada air adalah laju konveksi yang dirumuskan:

$$\frac{dq}{dt} = hA (T_i - T_o) \quad (2.24)$$

Heat flux yang diakibatkan oleh konduksi pada arah x, q_x yang melewati material selama proses pendinginan sebesar:

$$q_x = K_1 A \frac{dT}{dx} \quad (2.25)$$

Sehingga laju pertumbuhan kristal, dm/dt (masa per satuan waktu) adalah:

$$\frac{dm}{dt} = K_G A (T^* - T)^g \quad (2.26)$$

Dengan :

A = Area perumbuhan permukaan padat dari kristal

K_G = koefisien pertumbuhan kristal

T^* = Titik lebur

T = Temperatur *super-cooling*

g = Konstanta

2.3.1.3. Ukuran Partikel dan Metode Pemisahan *Ice Slurry*

Metode yang dilakukan untuk mendapatkan kualitas *ice slurry* yang baik adalah dengan memisahkannya dari air yang masih berfase liquid. Cara pemisahan sederhana yang dapat dilakukan adalah menggunakan metode massa jenis. Semakin rendah titik beku air laut, maka densitasnya juga akan semakin turun.

Setelah air laut diproses menjadi *ice slurry*, maka masukkan *ice slurry* kedalam wadah yang bening seperti gelas ukur untuk melihat berapa persen *ice slurry* yang mengapung dalam gelas ukur.

Ukuran dari partikel *ice slurry* diketahui dengan menggunakan pendekatan yang diberikan oleh (Bae et al ,1993; Miyawaki et al ; 1992; Miyawaki, 2001).

$$D \approx S \cdot \sqrt{\frac{16 \Delta T D_w}{k(T_m - T_1)}} \quad (2.27)$$

Dimana:

- D = Diameter *ice slurry*, m
- S = Fungsi posisi pembekuan awal, m
- ΔT = Temperatur *supercooling* maksimum, K
- D_w = Koefisien difusi air laut, m²/s
- k = difusifitas termal, K/s
- T_m = Temperatur pendinginan mula-mula, K
- T_1 = Temperatur *subcooling*, K

2.3.2. Pengaruh Aditif Terhadap Waktu Pembentukan *Ice Slurry*

Laju pembentukan *ice slurry* bergantung pada komposisi dari air yang akan diproduksi menjadi kristal es. Salah satu faktor yang dapat mengubah komposisi air adalah penambahan aditif. Prof. Nandy Putra [19] dalam penelitiannya menjelaskan bahwa jenis dan jumlah aditif yang ditambahkan pada bahan pembuat *ice slurry* berpengaruh terhadap waktu pendinginan, pembentukan *ice slurry*, ukuran kristal *ice slurry* dan waktu peluruhan *ice slurry*.

Semakin banyak aditif yang ditambahkan ke dalam campuran air, maka laju pembentukan kristal es akan semakin lama karena titik beku dari air akan menjadi lebih rendah dibandingkan air tanpa aditif.

2.4. Air laut

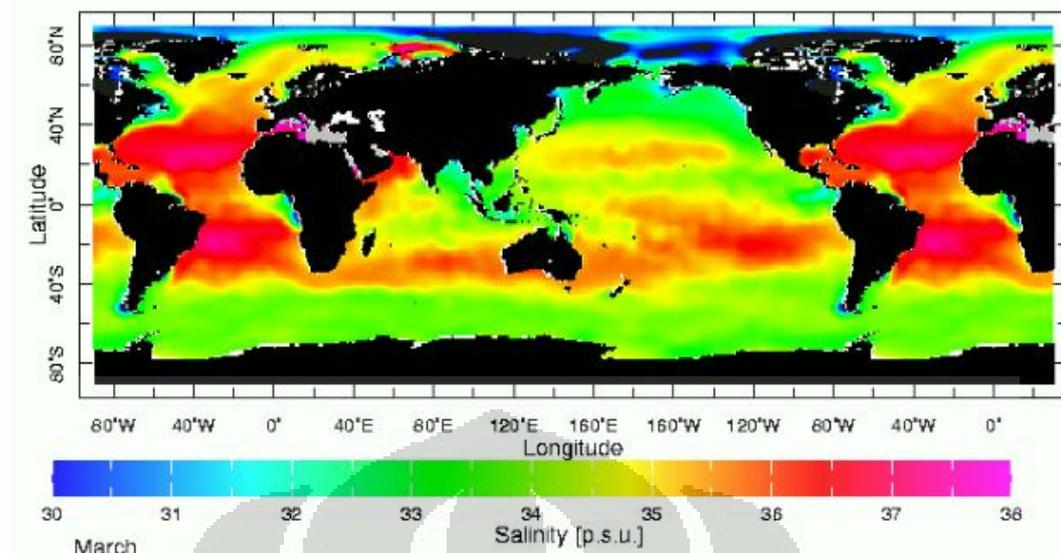
Air laut adalah kumpulan air asin yang ada di perairan planet bumi. Air laut merupakan fluida terbanyak di planet bumi, berdasarkan penelitian dari Matthew Charette, ilmuwan di *Department of Marine Chemistry and Geochemistry*, jumlah seluruh air laut di bumi diperkirakan mencapai 1,332 miliar kilometer kubik. Rata-rata kandungan utama dari air laut berupa 96,5 % air murni dan 3,5 % lainnya berupa campuran lainya seperti garam-garaman, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Sifat fisik air laut sendiri ditentukan oleh kandungan air murni yang 96,5% [10].

Ada beberapa sifat air laut yang mempengaruhi karakteristik air laut seperti densitas, kadar garam (salinitas), titik beku dan tekanan di tiap tempat tertentu.

2.4.1. Salinitas

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air, yaitu jumlah berat total (gr) material padat seperti NaCl yang terkandung dalam 1000 gram air laut (g/Kg) [Wibisono, 2004] satuan salinitas adalah *part per thousand*(ppt) atau bisa juga disebut dengan psu (*practical salinity unit*). Kadar salinitas menentukan jenis perairan di suatu lokasi, perairan dengan kadar salinitas <0,05% tergolong ke dalam kelompok air tawar, kadar salinitas 0,05-3 % masuk ke dalam golongan air payau, salinitas 3-5% masuk ke golongan air *saline* dan jika kadar garamnya diatas 5% maka sudah termasuk ke dalam golongan air *brine*.

Tingkat salinitas di tiap lokasi perairan dunia berbeda-beda hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu insolasi, presipitasi dan evaporasi. Insolasi adalah energi matahari yang berbentuk cahaya dan panas yang mempengaruhi temperatur air laut. Presipitasi adalah kondensasi uap air di udara yang bercampur di laut, sedangkan evaporasi adalah penguapan air laut ke udara. Berikut adalah pola penyebaran salinitas di wilayah perairan dunia:



Gambar 2.6. penyebaran salinitas di perairan dunia

Berdasarkan gambar di atas, terlihat bahwa salinitas untuk laut di Indonesia berkisar antara 33-35 psu. Rainer Feistel.2008, dalam penelitiannya menjelaskan, titik beku air laut untuk salinitas 33-35 psu sekitar $-1,9^{\circ}\text{C}$. Berikut adalah tabel hubungan antara titik beku dan salinitas yang diberikan oleh Feitsel :

Tabel 2.2. hubungan temperatur beku air laut terhadap kadar salinitas

No	Salinitas(g/kg)	Temperatur beku (C)
1	5	-0,2695
2	10	-0,536
3	15	-0,8037
4	20	-1,0741
5	25	-1,348
6	30	-1,6258
7	35	-1,9081
8	40	-2,195
9	45	-2,4871
10	50	-2,7845
11	55	-3,0875
12	60	-3,3965
13	65	-3,7116
14	70	-4,0332

15	75	-4,3615
16	80	-4,6969
17	85	-5,0397
18	90	-5,3902
19	95	-5,7487
20	100	-6,1158
21	105	-6,4917
22	110	-6,8771

Salinitas air laut dapat diukur dengan menggunakan metode argentometri, *thermal conductivity* dan metode densitas. Metode argentometri dilakukan dengan mengukur kadar ion Cl^- dalam air dengan titrasi perak nitrat (*argentometri*). Selanjutnya hasil kadar Cl^- digunakan untuk menghitung salinitas dengan persamaan :

$$S = 0,03 + 1,8050 \text{ Cl}^- \quad (2.28)$$

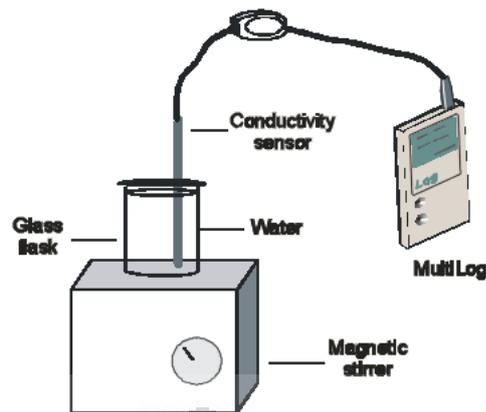
Dengan : S = salinitas, ppt.

Cl^- = kadar Cl dalam air disebut juga klorinitas, ppt.

Metode kedua adalah menggunakan *thermal conductivity*. Caranya adalah dengan mengambil contoh air laut dengan volume tertentu lalu diukur menggunakan sensor konduktivitas. Setelah nilai konduktivitas air laut diketahui. Selanjutnya nilainya dapat dihubungkan dengan nilai salinity. Berikut hubungan salinity dan konduktivitas yang umum:

Tabel 2.3. hubungan salinitas terhadap konduktivitas

No	Salinity (psu)	Konduktivitas(mS/cm)
1	30	53
2	35	56
3	40	60



Gambar 2.7.komponen pengukuran salinity dengan metode konduktivitas thermal

Cara ketiga yang dapat dilakukan untuk mengetahui dengan mengukur densitas air laut pada volume tertentu. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan :

$$\rho_{\text{air laut}} = \frac{m}{v} \quad (2.29)$$

$$\Delta\rho = \rho_{\text{air laut}} - \rho_{\text{air murni}} \quad (2.30)$$

Besar kenaikan $\Delta\rho$ adalah nilai salinitas pada air laut.

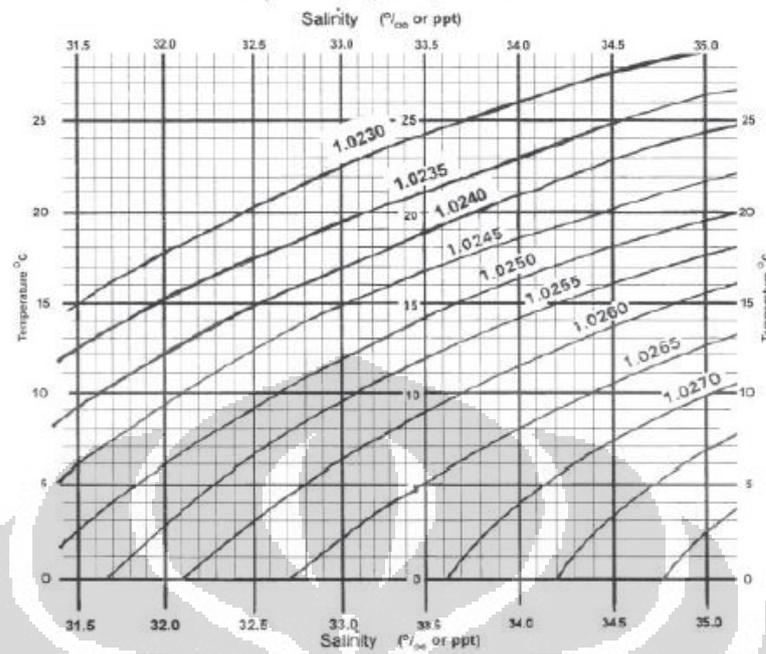
2.4.2. Densitas

Densitas/massa jenis adalah besar massa suatu benda yang terkandung dalam satu satuan volume (1 liter). Untuk air laut besar densitasnya diukur dengan menimbang air laut sebanyak 1 liter. Masa tiap 1 liter air laut tersebut disebut dengan densitas. Pada umumnya nilai densitas air laut berkisar antara 1,02 - 1,07 gr/cm³ atau 1020 gr/L – 1070 gr/L akan bertambah sesuai dengan bertambahnya salinitas serta berkurangnya temperatur.

2.4.3. Titik Beku

Titik beku air laut bergantung pada nilai salinitas dan densitas. Gambar 2.8 adalah tabel hubungan antara densitas, salinitas pada temperatur tertentu [11]. Persamaan nilai titik beku air laut (dalam °C) juga merupakan fungsi dari salinitas dan tekanan (kedalaman).

$$T_f(S, P) = -0.0575 S + 1.710523 \times 10^{-3} S^{3/2} - 2.154996 \times 10^{-4} S^2 - 7.53 \times 10^{-3} P \quad (2.31)$$



Gambar 2.8. hubungan densitas terhadap salinitas dan temperatur

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh mahasiswa teknik mesin di laboratorium pendingin DTM FTUI. Diharapkan kedepannya *ice slurry* generator ini dapat diaplikasikan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Generator ini dirancang agar dapat menciptakan produk yang berupa *ice slurry* sebagai hasil proses refrigerasi. Diharapkan waktu untuk menghasilkan *ice slurry* lebih cepat dari sebelumnya agar dalam rentang waktu yang sama volume *ice slurry* yang diperoleh semakin banyak.

Penelitian pertama pada alat ini dilakukan oleh Erwin Hindarto tahun 2004 dengan penekanan penelitian pada proses perancangan *ice slurry* generator hingga generator bisa menghasilkan produk refrigerasi berupa *ice slurry*. Pada penelitian pertama ini perhitungan untuk tiap proses refrigerasi masih belum disertakan secara detail, selain itu data parameter juga masih belum lengkap seperti pada penempatan *pressure gauge* yang hanya diletakkan pada saluran masuk (*suction*) dan saluran keluar (*discharge*) kompresor saja serta belum terdapat alat pengukur temperatur tiap komponen.

Pada tahun 2006 dilakukan penelitian lanjutan oleh Angga Pratama yang bertujuan meningkatkan performa generator. Cara yang dilakukan adalah dengan memperbaiki tata letak komponen dan memodifikasi alat agar mudah dimobilisasi. Selain itu, untuk memudahkan pengambilan data maka ditambahkan *pressure gauge* pada daerah sebelum dan sesudah katup ekspansi. Selain itu, untuk mengukur temperatur, maka pada tiap *pressure gauge* juga ditambahkan termokopel tipe K. Pada penelitian kedua ini sudah dilakukan berbagai variasi dalam pengambilan data berupa perbedaan kecepatan putaran *augher shaft* serta kadar campuran bahan baku produk yang ingin dihasilkan. Tujuan variasi ini adalah untuk mendapatkan performa terbaik dari sistem pendinginan.

Penelitian terakhir pada *slurry ice generator* ini dilakukan pada tahun 2008 oleh saudara Kuswanto. Tujuan dari penelitian kali ini adalah untuk mempercepat proses pendinginan dengan cara memperbesar proses perpindahan panas di dalam evaporator. Metode yang dilakukan oleh saudara Kuswanto adalah menambahkan *scraper* pada *augher shaft*. Manfaat dari *scraper* ini adalah untuk mempercepat proses pendinginan sehingga dibutuhkan waktu yang lebih singkat dalam membuat *ice slurry* namun dengan putaran *augher* yang lebih rendah dibandingkan tanpa menggunakan *scraper*.

Meskipun menggunakan generator yang sama pada penelitian kami, namun terdapat beberapa perbedaan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya mulai dari aspek tujuan hingga penampakan dari *ice slurry* generator tersebut.. Penelitian yang kami lakukan adalah dengan mengambil metode yang telah dilakukan dan melakukan pengujian untuk bahan dasar air laut.

3.1. *Ice Slurry Generator*

Pada proses instalasi terdapat beberapa perubahan yang dilakukan. Mengingat tujuan utama dari penelitian ini adalah menjadikan *ice slurry* generator untuk membantu nelayan, maka ukuran yang semula besar dibuat lebih kecil dengan cara memotong bagian generator tempat menampung produk *ice slurry* yang diproduksi di generator pertama (*evaporator*). Pemotongan bagian generator penampung *ice slurry* ini untuk memudahkan proses pengeluaran produk. Selain itu, sebagai bahan pendingin ikan, maka *ice slurry* yang sudah diproduksi dan kemudian mencair tidak bisa lagi diproses ulang di tangki generator pertama/evaporator dikarenakan *ice slurry* nya sudah tercemar oleh bau ikan. Pemotongan ini juga bertujuan agar mobilisasi sistem lebih mudah, perawatan alat lebih mudah dilakukan dan menghemat ruang di laboratorium.

Selain memperkecil dimensi sistem, terdapat komponen yang diganti karena selain sudah tidak dapat berfungsi dengan baik juga untuk memperbaiki performa sistem agar dapat menghasilkan produk lebih cepat. Komponen yang diganti meliputi katup ekspansi, kompresor, *pressure gauge* dan termokopel. Selain komponen yang diganti, pada *ice slurry generator* juga terdapat komponen

utama dan komponen pendukung. Berikut adalah komponen yang ada di sistem *ice slurry* generator:

1. Kompresor
2. Kondenser
3. Katup ekspansi
4. Evaporator (Tangki Generator)
5. *Augher Shaft*
6. *Scraper*
7. Panel Listrik
8. Tangki Penampung Air Laut
9. Komponen Pengaman : *Hi-lo pressure control* dan *liquid line filter drier*
10. Motor Listrik
11. *Pulley*
12. *V-Belt*



Gambar 3.1. Ice slurry generator sebelum diperbaiki



Gambar 3.2. Ice slurry generator sesudah diperbaiki

3.1.1. Kompresor

Kompresor yang digunakan adalah jenis *hermatic* berkapasitas 1.5 HP dengan brand *Tecumseh* buatan Prancis. Kompresor hermetic adalah kompresor dimana rotor motor listrik berada di dalam perpanjangan ruang engkol. Kompresor jenis ini menggunakan refrigeran pendingin R22. Penggunaan kompresor ini menggantikan kompresor sebelumnya yang rusak karena mengalami kebocoran di bagian saluran keluar refrigeran (*discharge*). Terdapat persamaan dan perbedaan kompresor yang digunakan dengan sebelumnya. Berikut tabel perbandingan keduanya :

Tabel 3.1. Perbandingan tipe kompresor yang dipakai

No	Term	Kompresor Lama	Kompresor Baru
1	Tipe Berdasarkan Konstruksi	Hermatik	Hermatik
2	Kapasitas Daya (HP)	1	1.5
3	Brand	Tecumseh	Tecumseh
4	Negara Produser	USA	Prancis



Gambar 3.3.kompresor hermatik 1.5 HP

Terdapat beberapa keunggulan dalam penggunaan kompresor jenis *hermatik* antara lain:

- a. Karena engkol dan motor menyatu , maka tidak diperlukan sekat antara keduanya sehingga dapat meminimalisir kebocoran.
- b. Digunakan untuk unit berkapasitas rendah dengan daya hanya mencapai 7,5 kWatt.
- c. Tidak memakai tenaga penggerak dari luar, sehingga suaranya lebih tenang dan getaran kecil.
- d. Motor dapat sekaligus didinginkan oleh refrigeran yang masuk kompresor .
- e. Harga lebih terjangkau.

3.1.2. Kondenser

Tipe kondenser yang digunakan sama seperti kondenser sebelumnya yaitu jenis *tube and fin* dengan media pendingin udara (*air cooled*) yang biasa digunakan pada AC. Material kondenser terbuat dari tembaga berdiameter 3/8 inch dengan panjang 42 cm dan jumlah belokan sebanyak 19 buah.kipas yang digunakan adalah merk *maspion electric* dengan daya yang digunakan 19 Watt.



Gambar 3.4. kondenser

3.1.3. Katup Ekspansi

Katup ekspansi yang digunakan adalah jenis *needle valve*. Jenis katup ekspansi ini berbeda dengan katup ekspansi sebelumnya yang menggunakan jenis *thermostatic expansion valve (TXV)*. Needle valve adalah katup dengan penutup berupa jarum yang meruncing ke arah bawah dimana bukaan katup diatur dengan ulir [14]. Keunggulan dari needle valve ini adalah:

- a. Bukaan katub dapat diatur sesuai dengan kebutuhan rasio kompresi sehingga temperatur setelah katup dapat maksimal.
- b. Tahan terhadap tekanan hingga 6000 psi sehingga lebih kuat.
- c. Pengaturan bukaan katup sekaligus sebagai pengatur jumlah aliran fluida yang mengalir sehingga sebelum masuk kompresor refrigerannya sudah berupa uap.



Gambar 3.5.needle valve

3.1.4. Tangki Generator (Evaporator)

Tangki generator yang digunakan sama dengan tangki generator sebelumnya yaitu berupa silinder alumunium berdimensi \varnothing 260 mm x 260 mm dan tebal 1 mm. tangki dililiti pipa tembaga berdiameter 3/8 inch yang dialiri refrigerant sebagai evaporatornya. Untuk memaksimalkan proses perpindahan kalor, maka pada bagian evaporator diberi isolasi berupa *polyuretane*. *Polyuretane* dipilih karena memiliki konduktivitas thermal yang kecil yakni $k= 0,025 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Berikut adalah gambar dari tangki generator:



Gambar 3.6. tangki generator

3.1.5. Augher shaft

Augher shaft adalah batangan berprofil yang terbuat dari *stainless steel* yang ditempatkan pada bagian tengah tangki generator. Tujuan dari *augher shaft* selain sebagai pengaduk saat air laut didinginkan juga agar proses perpindahan kalor didinding tangki generator lebih maksimal dan menghancurkan partikel es yang terbentuk menjadi *slurry*. Pemutar *augher* menggunakan motor penggerak listrik yang dihubungkan dengan *pulley* dan *belt*.



Gambar 3.7. Augher shaft

3.1.6. *Scraper*



Gambar 3.8. *Scraper* penggerus

Scraper adalah komponen yang berfungsi sebagai penggerus air pada dinding evedorator. Tujuan dari pemberian *scraper* ini adalah agar air yang menempel pada dinding tangki dapat bersirkulasi sehingga proses perpindahan kalor yang terjadi lebih maksimal. Proses dimana fluida membentuk pola gerakan tertentu dinamakan agitasi, sedangkan *scraper* pada kasus ini disebut dengan agitator. Tujuan dari proses agitasi adalah :

- a. Mengaduk larutan homogeneous
- b. Mendispersi gas dalam liquid
- c. Mencampur partikel padat sehingga terbentuk campuran suspensi
- d. Mendispersi liquid sekunder yang tidak larut agar terbentuk emulsi atau suspensi halus.

3.1.7. Tangki Penampung Air Laut

Tangki penampung air laut terbuat dari pipa seng berdiameter 260 mm dan tinggi 370 mm dengan tebal 1 mm. Tangki penampung ini berfungsi sebagai tempat air laut sebelum di masukkan ke dalam tangki generator. Antara tangki penampung dan generator dihubungkan oleh pipa PVC sebagai saluran air. Pada bagian bawah tangki diberi katub untuk memudahkan pengurasan air laut yang sudah kotor.



Gambar 3.9. Tangki penampung air laut

3.1.8. Komponen Pengaman

Untuk mencegah kejadian yang dapat merusak sistem, maka dipasang beberapa komponen pengaman pada *ice slurry* generator. Ada dua komponen pengaman yang digunakan yaitu *hi-lo pressure control* dan *liquide line filter drier*.

3.1.8.1. *Hi-lo Pressure Control*

Hi-lo Pressure Control adalah komponen yang berfungsi sebagai pembatas tekanan pada sistem. Komponen ini terdiri dari dua bagian yaitu *High pressure control* sebagai pembatas agar tingginya tekanan dalam sistem tidak melebihi batas yang ditentukan dan *low pressure control* yang berfungsi mengatur agar tekanan dalam sistem tidak terlalu rendah. Jadi dengan alat ini sistem akan bekerja pada tekanan antara batas *low* dan batas *high* sistem. Jika tekanan dalam sistem melebihi batas *high* atau kurang dari batas *low* maka sistem akan mati secara otomatis dengan cara memutuskan rangkaian listrik sehingga kompresor terhenti. Tujuan dari proteksi ini ialah agar sistem tidak berada dalam kondisi *vacum* saat beroperasi [15].



gambar 3.10. Hi-lo Pressure control

3.1.8.2. *Liquide Line Filter Drier*

Liquide Line Filter Drier komponen yang dipasang antara kompresor dan kondenser yang berfungsi sebagai penyaring material asing yang berada di dalam sistem seperti kotoran, debu, flux sisa penyambungan, uap basah dan garam akibat kelembaban. Material asing ini harus disaring karena dapat menyebabkan refrigeran membeku pada alat ekspansi sehingga dapat mengganggu kerja dari katup ekspansi dan kompresor [7].

Filter drier yang dipakai dalam penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter dan panjang sesuai kebutuhan. Di dalam alat ini terdapat senyawa yang memiliki daya ikat uap basah (*moisture*) tinggi seperti alumina aktif, silika gel dan asam netral sebagai penyaring kotoran. Selain itu senyawa tersebut dapat juga menyerap air dan asam dari bahan pendingin yang mengalirinya [15].



Gambar 3.11. Liquide line filter drier

3.1.8.3. Sight Glass (Liquide/Moisture Indocator)

Sight Glass berfungsi untuk mengetahui apakah sistem kekurangan refrigerant atau tidak. Kekurangan refrigeran akan ditandai dengan munculnya gelembung sehingga perlu ditambahkan refrigeran agar sistem bekerja lebih optimal. Setelah jumlah refrigerant sudah cukup, maka aliran yang melewati *sight glass* akan terlihat bening seperti tidak berwarna. Selain itu, *sight glass* juga berfungsi untuk melihat apakah dalam sistem terdapat uap air atau tidak[7].



Gambar 3.12. *sight glass*

3.1.9. Motor Listrik

Motor listrik berfungsi untuk memutar augher shaft sebagai pengaduk air laut di dalam tangki generator. Pengadukan berfungsi untuk menjaga keseragaman dimensi kristal es, menjaga larutan agar tetap homogen, air laut tidak membeku dan mencegah pengendapan.

Kecepatan maksimal motor yang digunakan dapat mencapai 3000 rpm. Dalam prakteknya, kecepatan putar motor yang digunakan adalah kecepatan optimal untuk mengaduk air laut. Kuswanto dalam penelitiannya tahun 2008 menyebutkan bahwa kecepatan putar motor optimal untuk memutar augher shaft berkisar antara 100-200 rpm.



Gambar 3.13. motor listrik

3.1.10. *Pulley* dan *Belt*

Pulley dan *Belt* adalah alat yang berfungsi untuk mentransmisikan daya dari satu poros ke poros lainnya. Untuk kasus kali ini, komponen *Pulley* dan *Belt* digunakan untuk mentransmisikan daya dari putaran poros motor listrik ke poros *augher shaft*. selanjutnya putaran ini dimanfaatkan sebagai pengaduk cair yang ada di dalam tangki generator.

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam penggunaan belt. Terlebih dahulu harus diketahui jenis belt yang ada yaitu [16]:

1. Flat belt

Flat belt banyak digunakan di pabrik-pabrik dimana daya yang di transmisikan tidak terlalu besar. Pada flat belt jarak antara *pulley* tidak boleh lebih dari 10 m.

2. V-Belt

Berbeda dengan flat belt, pada v-belt daya yang di transmisikan lebih besar namun jarak antar *pulley* harus sangat dekat.

3. Circular Belt

digunakan ketika daya yang sangat besar perlu di transmisikan. Jarak antar *pulley* pada circular belt tidak boleh lebih dari 5 meter.

Pada *slurry ice* generator yang digunakan dalam penelitian ini, jarak antar *pulley* tidak lebih dari 1 meter. Untuk itu digunakan belt jenis v-belt. Berikut gambar jenis *pulley* dan *belt* yang digunakan:



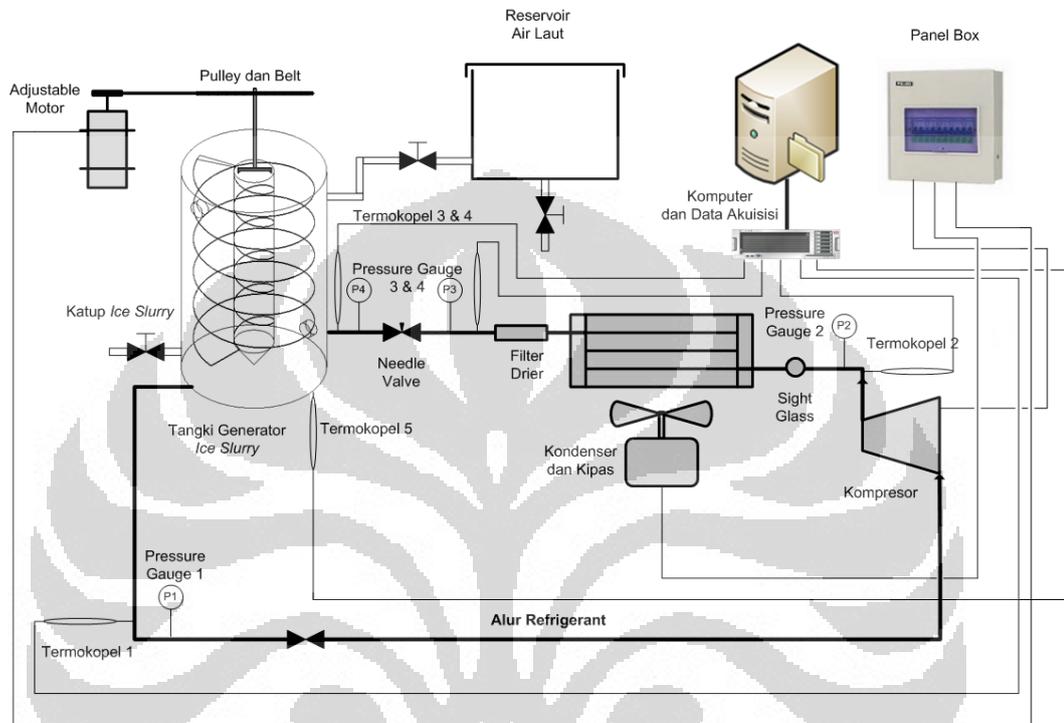
Gambar 3.14. *pulley* dan v-belt

3.2. Instalasi *Ice Slurry* Generator

Proses instalasi dilakukan di laboratorium refrigerasi yang terletak di lantai 3 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik UI . Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, instalasi *ice slurry* generator kali ini dibuat lebih kecil dibandingkan dengan desain sebelumnya. Langkah yang dilakukan untuk proses minimalisasi dimensi adalah dengan mengurangi bagian tangki penampung hasil produksi *ice slurry* dan pompa untuk mengalirkan *ice slurry* dari tangki penampung *ice slurry* ke tangki penampung air laut saat *ice slurry* sudah mencair.

Pengurangan bagian tangki penampung *ice slurry* dan pompa dilakukan karena beberapa alasan. Pertama , sebagai langkah awal agar dimensi *ice slurry* generator lebih simpel dan dapat dimasukkan ke dalam perahu nelayan. Kedua, air laut yang sudah menjadi *ice slurry* dapat langsung digunakan untuk mendinginkan ikan. Ketiga , *ice slurry* yang sudah mencair setelah mendinginkan ikan sudah berbau amis sehingga jika ingin didinginkan kembali di tangki

generator. Selain itu, setelah mendinginkan ikan, *ice slurry* tersebut sudah bercampur dengan material asing dan kotoran yang dapat merusak generator dan *scraper* saat proses pendinginan selanjutnya. Di bawah ini adalah skema dari instalasi *ice slurry* generator yang telah dilakukan :



Gambar 3.15. Skema instalasi slurry ice generator

Berdasarkan skema instalasi di atas, ada dua senyawa yang mengalami proses yaitu air laut dan refrigeran. Air laut sebagai senyawa yang didinginkan, sedangkan refrigeran sebagai senyawa pendingin. Berikut adalah siklus aliran dari masing – masing senyawa tersebut:

Siklus aliran refrigeran:

Refrigeran dalam sistem ini mengalami 4 proses yang dimulai dari kompresor, kondensator, katup ekspansi, dan kembali lagi ke kompresor. Berikut proses dari siklus refrigeran:

- Proses 1 – 4 : Saat sistem refrigerasi pertama kali dinyalakan, kompresor akan memompakan refrigeran yang masih berupa uap menuju kondensator.

Proses kompresi ini membuat refrigeran mengalami kenaikan tekanan dari sebelumnya. Sebelum refrigeran mencapai kondenser, refrigerant terlebih dahulu melewati *sight glass* agar dapat diketahui apakah terdapat material pengotor atau tidak. Setelah melewati *sight glass*, refrigeran juga akan disaring di *filter drier* untuk mengetahui apakah dalam sistem terdapat uap air atau tidak. proses ini bertujuan agar saat mencapai kondenser refrigeran sudah tidak mengandung bahan pengotor lagi.

- Proses 4 - 6 : refrigerant yang sudah berada dalam kondenser akan didinginkan oleh kipas dengan media udara (*air cooled*), tujuan pendinginan ini adalah untuk mengubah fasa refrigeran dari uap menjadi fasa *liquid*. Proses yang berlangsung pada tekanan tetap ini akan meneruskan refrigeran menuju katup ekspansi
- Proses 6 – 7 : refrigeran yang melewati katup ekspansi akan di ubah keadaanya dari keadaan tekanan tinggi (*high pressure*) menjadi bertekanan rendah (*low pressure*). Dengan penurunan tekanan yang dialami refrigeran maka otomatis temperatur yang keluar dari katup ekspansi akan lebih rendah dari temperatur lingkungan. Refrigeran bertemperatur rendah ini digunakan untuk proses pendinginan air laut dalam tangki generator .
- Proses 8 - 1 : Refrigerant yang telah melewati tangki generator ini selanjutnya akan mengalami proses evaporasi sebelum masuk kembali ke dalam kompressor . Proses evaporasi terjadi karena refrigerant bertemperatur rendah menyerap panas dari air laut yang berada didalam tangki generator.proses evaporasi berlangsung pada tekanan tetap. Setelah proses evaporasi refrigeran berada dalam fase uap kembali seblum akhirnya masuk ke dalam kompressor (*suction*).

Siklus aliran air laut

Siklus air laut hanya terdiri dari tiga tahapan yakni, dari laut ke tangki penampung, selanjutnya menuju tangki generator dan dikeluarkan sebagai media pendingin ikan. Berikut siklus dari air lautnya:

- Proses pertama yang terjadi pada air laut adalah saat air laut diambil dari sumbernya lalu ditampung di dalam tangki penampung sebelum di

alirkan ke dalam tangki generator. Sebelum dimasukan ke dalam tangki penampung, terlebih dahulu air laut diukur volumenya.

- Proses 7 – 8 : air laut dalam tangki penampung yang telah diukur volumenya selanjutnya akan didinginkan dalam tangki generator. Untuk menyalurkan air laut ke dalam tangki generator maka katup antara keduanya harus dibuka. Setelah air laut berada dalam tangki generator, maka proses pendinginan dapat dilakukan. Untuk mempercepat proses pendinginan dan mencegah agar air laut tidak membeku, maka augher shaft yang telah terpasang *scraper* diputar dengan bantuan motor listrik . Antara *augher shaft* dan motor listrik terhubung dengan bantuan *pulley* dan *belt* .
- Setelah air laut mengalami proses pendinginan dan berubah fasa menjadi slurry, maka *ice slurry* yang dihasilkan dapat langsung di gunakan untuk mendinginkan ikan. *Ice slurry* yang sudah siap kemudian dikeluarkan dengan cara membuka katup 3 .

3.3. Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, terdapat beberapa langkah yang dilakukan agar penelitian sesuai dengan prosedur yang benar sehingga data dapat diperoleh dengan akurat. Terdapat tiga hal yang menjadi perhatian pada proses pengambilan data yaitu prosedur pengambilan data, variasi sampel yang diteliti, dan alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data.

3.3.1. Prosedur Pengambilan Data

Sebelum memulai mengoperasikan *ice slurry* generator terlebih dahulu dilakukan pengecekan pada kabel listrik apakah tersambung dengan baik atau tidak, setelah itu pastikan semua katup air dalam keadaan tertutup, dan sistem tidak mengalami kebocoran dengan memperhatikan tekanan pada sistem. Langkah pengambilan yang dilakukan dalam proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Sambungkan data aquisisi pada komputer yang sudah menyala.

2. Pasang semua termokopel pada data aquisisi
3. Setelah data semua termokopel tersambung, aktifkan program lab-view untuk mengecek apakah setiap temperatur yang diukur oleh termokopel sudah dibaca di layar komputer.
4. Hubungkan kotak panel ke sumber tegangan
5. Ketika sudah siap dinyalakan, masukkan air laut yang akan didinginkan sesuai dengan takaran yang sudah ditentukan (5-11 liter) ke dalam tangki penampung air laut.
6. Buka keran yang menghubungkan saluran tangki penampung dan tangki generator untuk mengalirkan air laut.
7. Nyalakan sumber tegangan melalui kotak panel
8. Aktifkan kipas kondenser terlebih dahulu, lalu nyalakan kompressor.
9. Atur katup ekspansi, lalu perhatikan temperatur setelah katup hingga mencapai keadaan stabil.
10. Setelah stabil, tekan tombol “save” pada software Lab-view yang tertera di layar komputer. Tujuan ini adalah agar temperatur dapat dicatat setiap detiknya.
11. Setelah sistem menyala selama kurang lebih 10 menit,hidupkan motor listrik untuk menggerakkan augher shaft.
12. Atur putaran motor hingga mencapai 100-200 rpm,putaran motor ini diukur dengan menggunakan tachometer.
13. Amati temperatur ukur pada tiap termokopel khususnya pada bagian setelah kompressor dan evaporator. Temperatur kompressor jangan sampai terlalu tinggi ($\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) agar tidak merusak kerja kompressor itu sendiri.
14. Catat tekanan setelah kompressor, sebelum kompressor, tekanan sebelum dan sesudah katup ekspansi, arus listrik, tegangan listrik serta putaran motor setiap 5 menit.
15. Jika terjadi hal yang tidak diinginkan seperti konsleting , tekan tombol emergency yang berwarna pada kotak panel. Kegiatan ini bertujuan untuk mematikan sistem secara keseluruhan dengan cara memutuskan kontak listrik dari sumbernya.

16. Setelah temperatur di evaporator menunjukkan titik beku air laut ($\pm -1,85^{\circ}$), maka matikan motor listrik dan kompressor.
17. Amati air laut yang ada dalam tangki generator apakah sudah menjadi *ice slurry* atau tidak. Jika belum menjadi *ice slurry*, lanjutkan kembali proses pendinginan untuk mencapai temperatur yang lebih rendah.
18. Setelah *ice slurry* terbentuk, buka katup bagian bawah tangki generator untuk mengalirkan *ice slurry* ke dalam wadah yang sudah siap untuk mendinginkan ikan.

Untuk memudahkan mengingat langkah dari prosedur pengambilan data ini, maka dibuat *flow chart* / diagram alir dari setiap proses. Berikut adalah *flow chart* dari prosedur pengambilan data yang dilakukan :

3.3.2. Variasi Data yang Diambil

Dalam penelitian ini terdapat variabel tetap dan variasi variabel yang dilakukan untuk mengetahui kinerja optimal dari sistem. Variabel tetapnya adalah putaran dari augher shaft sebagai pengaduk air laut yang berada dalam tangki generator. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh kuswantoro, putaran augher shaft yang optimal berada pada kisaran 200 rpm. Namun, melihat kondisi dari sistem tidak memungkinkan, maka putaran augher yang dipakai hanya berkisar 120 rpm saja.

Variasi data dilakukan pada volume air laut yang didinginkan. Pada penelitian kali ini variasi volume yang dilakukan adalah 5 , 7, 9 dan 11 liter. Dari variasi ini kemudian akan dianalisa hubungan waktu dan pada volume berapa sistem menghasilkan kinerja paling optimal.

3.3.3. Alat Ukur yang Digunakan

Untuk mendukung proses pengambilan data, maka diperlukan alat ukur sebagai agar data yang diambil lebih akurat. Berikut adalah alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini:

3.3.3.1. Pressure gauge

Pressure gauge adalah alat ukur tekanan dalam pipa tembaga. Tujuannya adalah untuk mengetahui tekanan yang berada dalam lokasi tertentu seperti pada *suction* dan *discharge* kompressor serta pada keadaan sebelum dan sesudah katup ekspansi. Dari pressure gauge ini dapat diukur tekanan tipe *high pressure* dan *low pressure*. tekanan *high pressure* terdapat pada lokasi *discharge* kompressor dan sebelum masuk katup ekspansi. Sedangkan tekanan *low pressure* berada pada lokasi setelah katup ekspansi dan sesudah evaporator.

Pressure gauge yang digunakan adalah jenis bourdon yang terdiri dari perangkat pipa pegas melingkar yang terbuat dari kuningan atau baja. mekanisme kerjanya adalah sebagai berikut. Saat terjadi tekanan, maka tekanan yang berada di dalam pipa melingkar mengakibatkan cenderung menjadi lurus saat salah satu sisi terpasang dan sisi lain bergerak bebas, sisi yang bergerak bebas ini dapat bergerak secara proporsional sesuai dengan perbedaan tekanan dalam dan luar pipa tersebut. Perbedaan ini menyebabkan jarum pinion bergerak sesuai dengan perbedaan tersebut.



Gambar 3.16. pressure gauge tipe bourdon

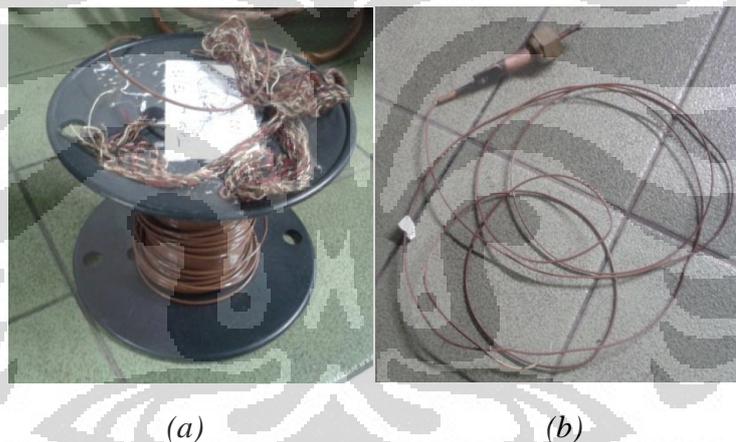
3.3.3.2. Termokopel

Termokopel adalah alat untuk mengukur temperatur pada daerah sebelum dan setelah refrigeran masuk kompressor, serta daerah sebelum dan sesudah katup ekspansi. Berbeda dengan termometer, prinsip kerja termokopel untuk mengukur

temperatur adalah dengan membaca perbedaan tegangan yang dihasilkan oleh junction antara kedua material konduktor yang berbeda [17].

Pada penelitian ini termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe K dengan material pembentuk kromel dan alumeldengan jangkauan temperatur ukur antara $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Untuk pembacaan output termokopel digunakan sebuah data akuisisi yang dihubungkan dengan komputer.

Agar dapat mengukur temperatur didalam pipa yang berukuran $3/8$ inch, maka termokopel dipasang pada pipa $1/8$ yang, kemudian pipa $1/8$ tersebut rekatkan dengan cara dilas pada pipa $1/4$ inch. Cara penggabungan temokopel yang sudah terpasang ini adalah dengan menghubungkan pipa $3/8$ inch dan $1/4$ inch menggunakan tee neppel. Berikut adalah gambar termokopel yang masih belum dipasang dan sudah terpasang.



(a) (b)
Gambar 3.17. a. Termokopel tipe K
b. Termokopel yang sudah dipasang

3.3.3.3. Data Aquisisi (DAQ)

Data akuisisi (DAQ) digunakan untuk membaca perbedaan tegangan pada termokopel tipe K. Perbedaan tegangan ini kemudian akan di konversikan menjadi temperatur ukur yang akan ditampilkan pada layar komputer berupa tampilan digital. DAQ yang digunakan adalah tipe DT 9806 yang dihubungkan dengan komputer menggunakan *USB port* serta sumber daya dari *power supply* .

Signal yang dapat diterima oleh DAQ dapat terdiri dari 3 jenis yaitu *single ended input*, *pseudo differential* dan *differential input*:

- *Single ended*

Digunakan jika ingin mengukur sinyal yang cukup besar dimana pengaruh noise tidak signifikan. Pada *single ended* semua sinyal input memiliki *common ground* yang sama sehingga semua channel (16 channel) dapat digunakan

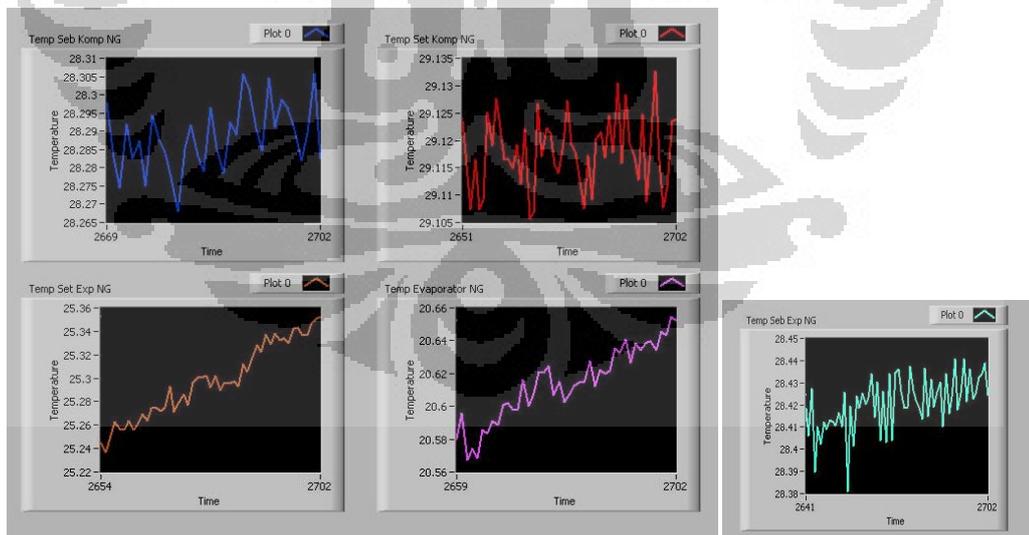
- *Pseudo differential*

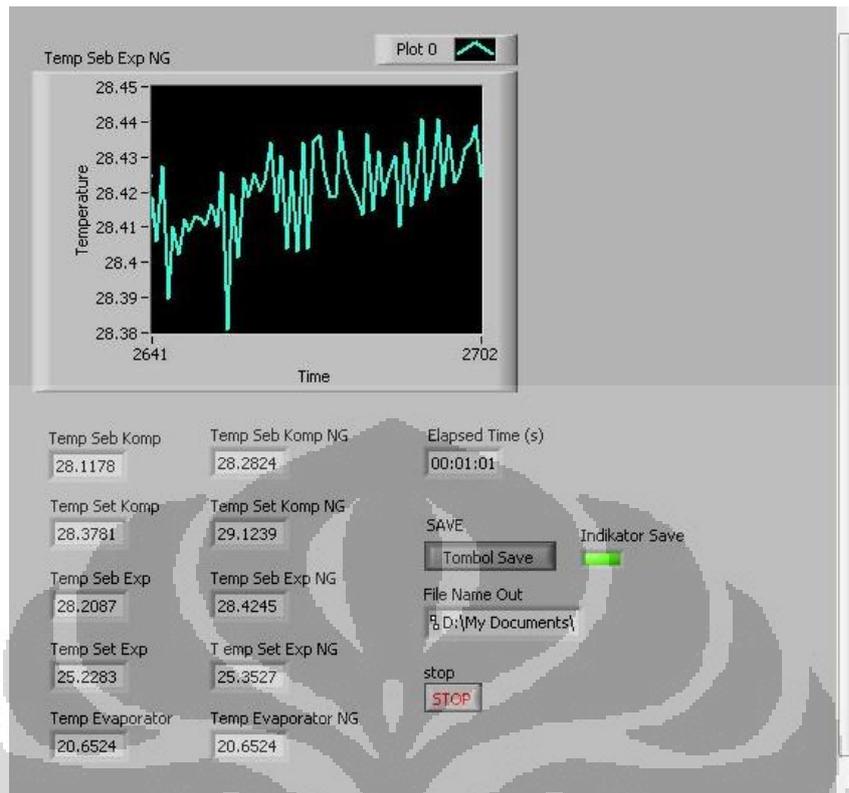
Konfigurasi ini dapat digunakan jika terdapat *noise* dan konfigurasi differensial tidak dapat digunakan.

- *Differential input*

Digunakan untuk mengukur termometer tahanan listrik dengan aplikasi tahanan rendah ($\leq 1 \text{ V}$). Pada konfigurasi ini noise menjadi bagian yang berpengaruh. Pada konfigurasi ini hanya 8 channel yang dapat digunakan.

Dalam proses pemasangannya, termokopel mengalami perlakuan panas akibat pengelasan. Untuk itu, dilakukan proses kalibrasi agar hasil pengukuran temperatur lebih akurat. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan temperatur yang diukur menggunakan termokopel dengan temperatur real yang diukur menggunakan termometer. Data hasil kalibrasi termokopel ditampilkan pada bagian lampiran.





Gambar 3.18. tampilan hasil baca DAQ pada layar komputer

3.3.3.4. Clamp meter/multi meter

Clamp meter atau multi meter adalah alat yang berfungsi sebagai pengukur arus yang mengalir pada kabel. Pada penelitian ini, clamp meter digunakan untuk mengukur arus yang mengalir melalui kompresor. Arus yang diukur ini selanjutnya akan digunakan untuk mengetahui kinerja dari kompresor.

Prinsip kerja clamp meter berdasarkan induksi magnetik akibat adanya arus yang mengalir pada konduktor tunggal. Besarnya induksi magnetik ini selanjutnya akan dikonversikan menjadi arus. Cara menggunakan clamp meter adalah dengan melingkarkannya pada salah satu kutub kabel yang menghubungkan kotak panel dengan kompresor. Selanjutnya hasil pengukuran akan ditampilkan pada layar LCD.



Gambar 3.19. Clamp meter

3.3.3.5. Tachometer

Tachometer adalah alat yang berfungsi untuk mengukur kecepatan putar dari suatu poros. Untuk kasus ini, tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan putar dari augher shaft. Pada augher ditempelkan kertas indikasi, selanjutnya ketika augher berputar, kecepatan dari kertas indikasi inilah yang akan dibaca oleh tachometer yang selanjutnya akan dikonversikan kedalam RPM.



Gambar 3.20. Tachometer

3.3.3.6. Volt meter

Volt meter digunakan untuk mengukur tegangan yang dipakai pada kipas kondenser dan kompressor. Volt meter ini diletakkan pada kotak panel agar yang terhubung pada kabel kompressor dan kipas kondenser.

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Berdasarkan penjelasan pada BAB III, pada penelitian ini dilakukan perbandingan waktu pendinginan pada air laut dengan volume 5 liter, 7 liter, 9 liter dan 10 liter untuk mendapatkan hasil kerja optimal dari *ice slurry* generator. pengambilan data dilakukan pada dua waktu yaitu siang dan malam. Pada setiap pengambilan data digunakan beberapa alat ukur yaitu dan volt meter untuk mengukur arus dan tegangan kompresor, tachometer *clamp meter* untuk mengukur kecepatan putar *augher shaft*, *pressure gauge* sebagai pengukur tekanan dalam sistem dan termokopel untuk mengukur temperatur sistem.

Pengambilan data untuk arus kompresor, tekanan sistem, tegangan, kecepatan putar motor dilakukan setiap 5 menit. Setelah mencapai waktu kurang lebih 1- 2 jam, pengambilan data dilakukan setiap 10 menit. Tujuan pengambilan data ini adalah untuk mengetahui stabilitas dari arus, tekanan sistem, tegangan dan kecepatan putar motor.

Untuk pengambilan data menggunakan termokopel dilakukan setiap satu detik dengan cara otomatis menggunakan program lab-view. Selanjutnya data dari termokopel ini digunakan untuk menganalisis temperatur sistem serta mengetahui waktu pembekuan dari air laut.

4.1 Hasil Pengujian

4.1.1. Massa Jenis Air Laut

Sebelum dilakukan percobaan, terlebih dahulu harus diketahui titik beku larutan air laut. Hal ini bertujuan untuk mengetahui berapa lama kerja sistem untuk mencapai titik beku tersebut. Agar setelah mencapai titik beku operasi sistem dapat langsung dihentikan. Maka, harus diketahui kadar salinitas air laut tersebut. Kadar salinitas diketahui dengan menggunakan metode massa jenis. Berikut hasil pengukuran yang dilakukan:

$$m_{\text{air murni}} = 998 \text{ g/L}$$

$$m_{\text{air laut}} = 1031 \text{ g/L}$$

$$\Delta m = m_{\text{air laut}} - m_{\text{air murni}}$$

$$= (1031 - 998) \text{ g/L}$$

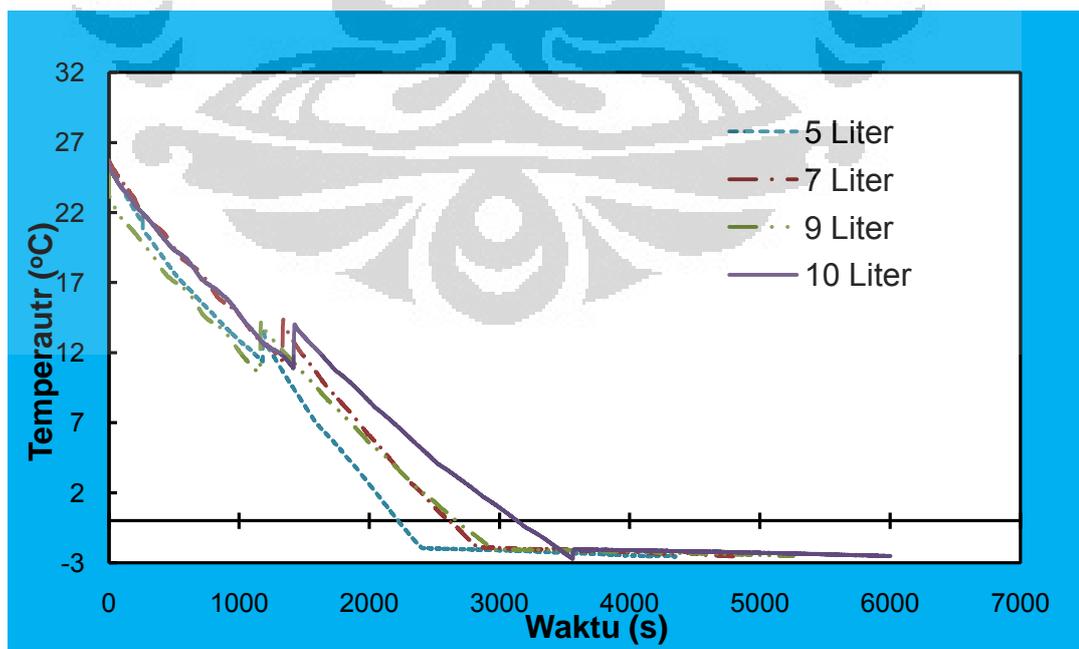
$$= 33 \text{ g/L}$$

$$= 33 \text{ g/Kg}$$

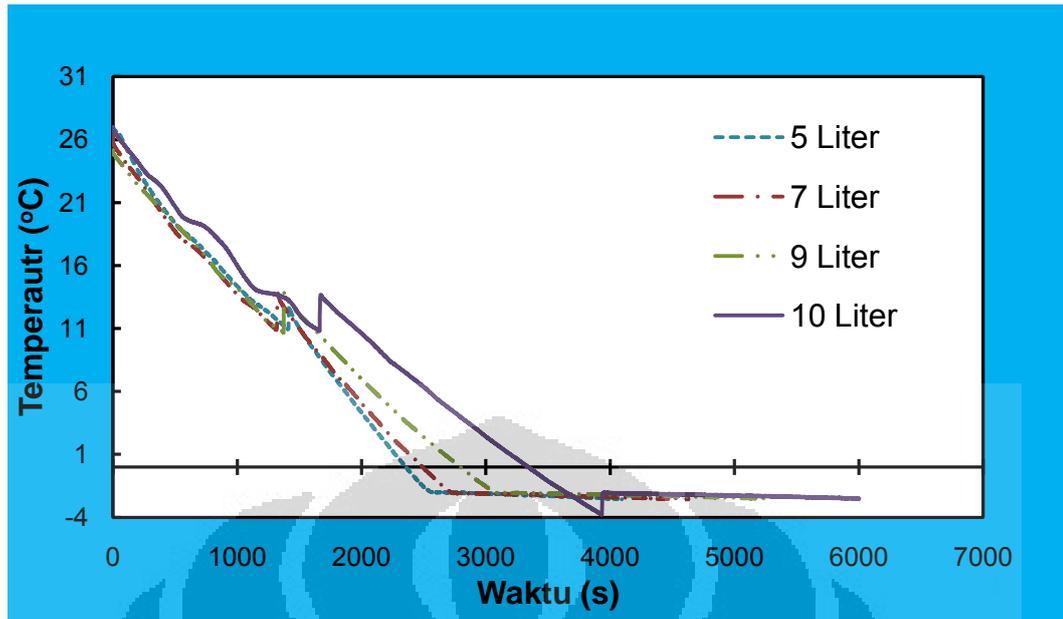
Berdasarkan penelitian Feitsel pada tahun 2008, titik beku air laut pada salinitas 33 g/Kg adalah sekitar $-1,85^\circ\text{C}$. Pengoperasian *ice slurry* generator dilakukan hingga temperatur dalam evaporator berada dibawah $-1,85^\circ\text{C}$ yaitu sekitar $-2,5^\circ\text{C}$.

4.1.2. Waktu Pendinginan Air Laut

Berdasarkan data yang telah diambil, terdapat perbedaan kecepatan waktu pembekuan air laut sesuai dengan variasi volume yang sudah ditetapkan berikut adalah perbandingan proses kristalisasi pada siang dan malam hari berdasarkan variasi volume yang diuji.



Gambar 4.1. waktu pendinginan air laut siang hari



Gambar 4.2. waktu kristalisasi air laut malam hari

Berdasarkan gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa semakin besar beban pendinginan, maka waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi *ice slurry* akan semakin lama. Terdapat fenomena yang terjadi pada saat air laut mencapai temperatur 11°. Pada temperatur 11° menunjukkan kenaikan hingga 13°. Pada bagian tengah generator temperaturnya lebih tinggi dibandingkan pada bagian sisi generator. Hal ini dikarenakan bagian tengah posisinya jauh dari evaporator. Saat motor dinyalakan, penyebaran temperatur dalam tangki generator menjadi lebih merata karena temperatur bagian tengah dan pinggir tercampur.

4.1.3. Perhitungan Beban Sistem Refrigerasi

4.1.3.1. Beban Kalor Induksi

Pada bagian sisi atas dan sisi bawah yang permukaannya berbentuk lingkaran, beban induksi hitung berdasarkan persamaan berikut[14]:

$$Q = U.A. \Delta T \quad (4.1)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{1}{f_o}} \quad (4.2)$$

Pada sisi samping, permukaanya berbentuk selimut silinder. Maka beban induksi dihitung berdasarkan persamaan [8]:

$$Q = \frac{2\pi L(t_o - t_i)}{\frac{1}{r_1 h_i} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k_1} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{k_2} + \frac{1}{r_3 h_o}} \quad (4.3)$$

Dimana :

- Q = Beban panas konduksi pada dinding (Watt)
 U = Koefisien perpindahan panas menyeruluruh (W/m²K)
 A = Luas penampang dinding (m²)
 ΔT = Beda temperatur sistem
 f_o = Koefisien konveksi permukaan luar (W/m²K)
 f_i = Koefisien konveksi permukaan dalam (W/m²K)
 r_1 = Jari-jari stainless steel (m)
 r_2 = Jari- Jari polyurathane(m)
 r_3 = Jari-jari alumunium(m)
 $h_o = h_i$ = koefisien konveksiluar/dalam = 9,37 W/m²K
 t_o = temperatur luar (°C)
 t_i = temperatur dalam tangki (°C)
 L = tinggi tangki (m)

Brikut adalah perhitungan beban induksi untuk pendinginan air laut pada siang hari dengan volume 5 liter.

— Silinder Sisi Bawah

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x_{aluminium}}{k_{aluminium}} + \frac{x_{polyuretane}}{k_{polyuretane}} + \frac{x_{aluminium}}{k_{aluminium}} + \frac{1}{f_o}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{9.37} + \frac{0.001}{14} + \frac{0.6}{0.025} + \frac{0.001}{100} + \frac{1}{9.37}}$$

$$U = 0.3826 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A = \pi r^2 = \pi \cdot (0.13^2) = 0.0531 \text{ m}^2$$

$$Q = U.A. \Delta T = 0.3826 \cdot 0,0531 \text{ (32-6.29)}$$

$$= 0.522 \text{ Watt}$$

— Sisi Atas (Penutup)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x_{aluminium}}{k_{aluminium}} + \frac{x_{polyuretane}}{k_{polyuretane}} + \frac{x_{aluminium}}{k_{aluminium}} + \frac{1}{f_o}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{9.37} + \frac{0.001}{14} + \frac{0.6}{0.025} + \frac{0.001}{100} + \frac{1}{9.37}}$$

$$U = 0.3826 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A = \pi r^2$$

$$= \pi \cdot (0.13^2) = 0.0531 \text{ m}^2$$

$$Q = U.A. \Delta T = 0.3826 \cdot 0,0531 \text{ (32-6.29)}$$

$$= 0.522 \text{ Watt}$$

— Sisi Samping

Berbentuk selimut silinder, maka bebannya menjadi [18]:

$$Q = \frac{2\pi L(t_o - t_i)}{\frac{1}{r_1 h_i} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k_1} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{k_2} + \frac{1}{r_3 h_o}}$$

$$= \frac{2\pi \cdot 0.38 \text{ (32-6.29)}}{\frac{1}{0.13 \cdot 9.37} + \frac{\ln \frac{0.19}{0.13}}{14} + \frac{\ln \frac{0.192}{0.19}}{0.025} + \frac{1}{0.191 \cdot 9.37}}$$

$$= 33.62 \text{ Watt}$$

4.1.3.2. Beban operasi

Selain beban akibat perpindahan panas, daya yang digunakan oleh sistem refrigerasi paling besar berasal dari penggunaan listrik untuk menggerakkan kompresor dan komponen lainnya. Besarnya daya yang digunakan adalah:

$$W = V \times I \times \cos \phi$$

Dengan :

$\cos \phi$ = Faktor derajat tegangan (Volt)

V = Tegangan pengukuran (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

$\cos \phi$ yang artinya faktor yang mempengaruhi keefektifan voltase yang digunakan oleh *ice slurry generator*. Perkalian voltase pengukuran dengan $\cos \phi$ merupakan voltase yang dipakai oleh sistem setelah dikurangi dengan hambatan. Nilai 0,98 merupakan hasil dari pengukuran $\cos \phi$ yang dilakukan pada lokasi pengambilan data yaitu di laboratorium refrigerasi Departement Teknik Mesin Universitas Indonesia.

Pada *ice slurry generator*, terdapat komponen utama yang menggunakan listrik yaitu kipas, kompressor dan motor listrik. Sehingga daya total dan energi yang digunakan merupakan penjumlahan dari ketiga komponen tersebut.

Berikut ini adalah perhitungan beban listrik yang digunakan saat pengambilan data 5 liter pada siang hari.

- Daya Kompressor (W_c)

$$\begin{aligned} W_c &= V \times I \times \cos \phi \\ &= 210 \times 2,1 \times 0,98 = 411,6 \text{ Watt} \end{aligned}$$
- Daya Kipas (W_k)

$$\begin{aligned} W_k &= V \times I \times \cos \phi \\ &= 200 \times 0,19 \times 0,98 = 37,24 \text{ Watt} \end{aligned}$$
- Daya Motor (W_m)

$$\begin{aligned} V_{\text{efk}} &= V \times I \times \cos \phi \\ &= 180 \times 1,16 \times 0,98 = 204,62 \text{ Watt} \end{aligned}$$
- Daya Total (W_T)

$$\begin{aligned} W_T &= W_c + W_k + W_m \\ &= 411,6 + 37,24 + 204,62 \\ &= 653,464 \text{ Watt} \end{aligned}$$

- Besar energi yang dibutuhkan untuk memproduksi *ice slurry* dengan volume 5 liter adalah:

$$\begin{aligned}
 E &= W_t \cdot t \\
 &= 653.464 \times (77 \times 60) \\
 &= 3019003.7 \\
 &= 3019.04 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Dalam kWh besar energi yang dipakai adalah :

$$\begin{aligned}
 E &= W_t \cdot t \\
 &= 653,464 \text{ Watt} \times 1.28 \text{ hour} \\
 &= 860.65 \text{ Wh} = 0.861 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

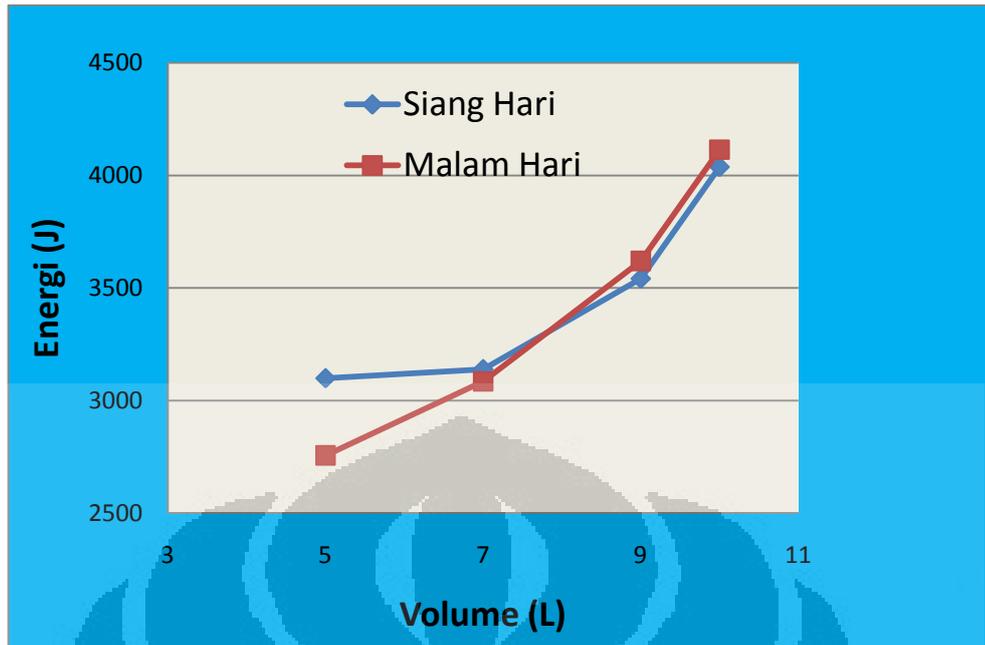
Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama pada tiap variasi volume, maka akan diperoleh daya dan energi yang dibutuhkan untuk produksi *ice slurry* pada masing –masing volume air laut. Tabel 4.1 dan 4.2 ini adalah perbandingan energi dan daya yang digunakan pada proses pendinginan air laut pada siang dan malam hari.

Tabel 4.1. Daya Sistem Variasi Volume Ice Slurry pada Siang Hari

Pengambilan Data Siang												
Volume	5			7			9			10		
Komponen	kipas	motor	kompresor	kipas	motor	kompresor	kipas	motor	kompresor	kipas	motor	kompresor
Arus (A)	0,19	1,16	2,1	0,19	1,18	2,08	0,3	1,21	2,2	0,16	1,25	2,15
Voltase (V)	200	180	200	200	180	200	200	180	200	200	180	200
V efektif (V)	196	176,4	196	196	176,4	196	196	176,4	196	196	176,4	196
Daya (W)	37,24	204,62	411,6	37,24	208,15	407,68	58,8	213,44	431,2	31,36	220,5	421,4
Daya Total (W)	653,464			653,072			703,444			673,26		
Waktu(menit)	77			78			88			103		
Energi total(kJ)	3019,04			3056,38			3714,18			4160,75		

Tabel 4.2. Daya Sistem Variasi Volume Ice Slurry pada Malam Hari

Pengambilan Data Malam												
Volume	5			7			9			10		
Komponen	kipas	motor	kompresor	Kipas	motor	kompresor	kipas	motor	kompresor	kipas	motor	kompresor
arus (A)	0,3	1,03	2,01	0,3	1,15	2,1	0,17	1,28	2,12	0,16	1,25	2,13
voltase (V)	210	180	210	210	180	210	210	180	210	210	180	210
V efektif (V)	205,8	176,4	205,8	205,8	176,4	205,8	205,8	176,4	205,8	205,8	176,4	205,8
Daya (W)	61,74	181,69	413,658	61,74	202,86	432,18	34,986	225,79	436,296	32,928	220,5	438,35
Daya Total (W)	657,09			696,78			697,074			691,782		
Waktu(menit)	67			75			88			100		
Energi total(kJ)	2641,93			3135,51			3680,55			4150,69		



Gambar 4.3. Grafik perbandingan pemakaian energi dengan volume air laut

Dari tabel 4.1 dan 4.2 , dapat dibandingkan besarnya energi yang digunakan untuk memproduksi *ice slurry* untuk setiap volume tertentu. Gambar 4.3 diatas adalah grafik perbandingan antara energi yang dihabiskan dan volume yang dipakai pada pengambilan data. Dari gambar terlihat bahwa energi terbesar yang digunakan untuk memproduksi *ice slurry* terdapat pada volume 10 liter dan. Sedangkan besarnya energi yang digunakan pada volume yang semakin kecil juga akan ikut turun.

Pada siang hari energi terkecil terjadi saat volume air laut yang didinginkan 5 liter dan cenderung meningkat seiring bertambahnya beban pendinginan(volume air laut). Energi yang digunakan pada volume 5 liter yaitu sebesar 3019.04 kJ. Sedangkan energi terbesar terjadi saat volume air laut yang didinginkan 10 liter yaitu sebesar 4160.75 kJ.

Pada malam hari energi yang dihabiskan lebih kecil dibandingkan pada siang hari. Pada malam hari, energi terkecil terjadi saat volume air laut yang didinginkan 5 liter dan cenderung meningkat seiring bertambahnya beban pendinginan(volume air laut). Energi yang digunakan pada volume 5 liter yaitu sebesar 2641.93 kJ. Sedangkan energi terbesar terjadi saat volume air laut yang didinginkan 10 liter yaitu sebesar 4150.61 kJ.

4.1.3.3. Perhitungan Biaya Listrik

Berdasarkan pemakaian daya dan energi, maka dapat dihitung biaya yang dibutuhkan untuk membuat *ice slurry* berdasarkan perbandingan volume. Perhitungan biayanya adalah sebagai berikut:

$$P = W_t \cdot t \text{ (Wh)}$$

$$B_p = P \times T_{\text{listrik/kwh}}$$

Dimana :

$$P = \text{banyak pemakaian (Wh)}$$

$$t = \text{Waktu pemakaian (jam/hour)}$$

$$B_p = \text{Biaya Pemakaian (Rp)}$$

Berikut ini adalah perhitungan biaya listrik untuk memproduksi *ice slurry* pada volume 5 liter di siang hari (W_t dan t berdasarkan tabel 4.1 dan 4.2)

$$\begin{aligned} P &= W_t \cdot t \\ &= 653.46 \text{ Watt} \cdot 1,28 \text{ h} \\ &= 838.39 \text{ Wh} = 0.8383 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Tarif 1 kWh berdasarkan data yang didapat dari PLN adalah Rp 880, maka biaya produksi *ice slurry* untuk satu kali *running* adalah sebesar:

$$\begin{aligned} B_{p \text{ satu kali runing}} &= W \cdot \text{Tarif} \\ &= 0,8383 \text{ kWh} \times \text{Rp } 880 \\ &= \text{Rp } 737.79 \end{aligned}$$

Jika dianggap alat bekerja konsisten, maka biaya produksi selama siang hari (dimulai pukul 6.00 – 18.00) adalah biaya produksi dikalikan dengan banyaknya *runing* selama siang hari tersebut yaitu sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Banyak runing} &= \frac{12 \text{ jam}}{\text{waktu satu kali runing}} = \frac{12 \text{ jam}}{1.28 \text{ jam}} \\ &= 9.35 \approx 9 \text{ kali} \end{aligned}$$

Dengan mengetahui banyaknya oprasi yang dilakukan tiap harinya(pada siang hari) , maka diketahui jumlah volume air laut yang dapat dihasilkan dalam sehari dan biaya yang dibutuhkan untuk memproduksinya.berikut adalah perhitungan biaya produksi dalam sehari.

$$\begin{aligned} \text{Volume yang dihasilkan} &= 5 \text{ liter} \times \text{jumlah operasi} \\ &= 5 \times 9 \\ &= 45 \text{ liter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_p \text{ siang} &= \text{Banyak running} \times B_p \text{ satu kali runing} \\ &= 9 \times \text{Rp } 737.79 \\ &= \text{Rp } 6640.08 \end{aligned}$$

Perbandingan biaya siang hari untuk tiap volume digambarkan sebagai rasio harga. Rasio harga menunjukkan harga satu liter *ice slurry* yang dihasilkan untuk setiap kali alat bekerja dengan volume tertentu. Pada volume 5 liter, rasio harganya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rasio harga} &= \frac{B_{p \text{ per hari}} (\text{Rp})}{\text{Volume Produksi 1 hari (L)}} \\ &= \frac{\text{Rp } 6640,08}{45 \text{ Liter}} = 147.56 \text{ Rp/L} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan metode yang sama, lakukan perhitungan pada variasi data yang ada. Tabel 4.3 dan 4.4 adalah hasil perhitungan daya dan biaya yang dibutuhkan dalam produksi *ice slurry*.

Tabel 4.3. Biaya produksi Ice Slurry pada Siang Hari

Data Siang Hari				
Volume	5	7	9	10
Daya(Wt)	670,81	670,81	670,81	670,81
Waktu 1x (h)	1,28	1,30	1,47	1,72
Banyak running	9,35	9,23	8,16	6,99
W(wh)	860,65	872,05	986,09	1151,58
W(kwh)	0,86	0,87	0,99	1,15
Tarif per kWh	880	880	880	880
Bp satu kali (Rp)	757,37	767,41	867,76	1013,39
Bp perhari (Rp)	6816,34	6906,66	6942,08	7093,73
Volume produksi 1 hari	45	63	72	70
Rasio harga(Rp/L)	151,47	109,63	96,42	101,34

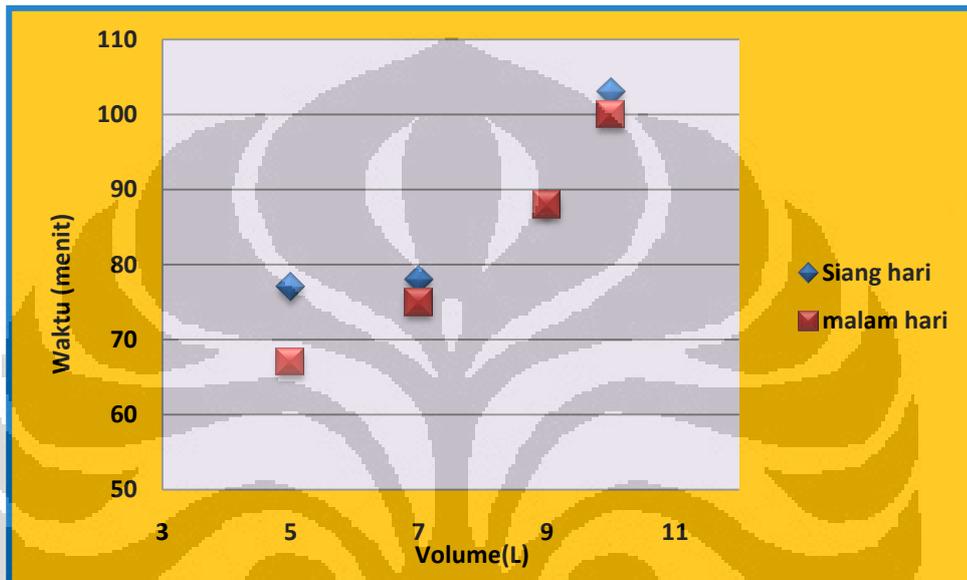
Tabel 4.4. Biaya produksi Ice Slurry pada Malam Hari

Data Malam Hari				
Volume	5	7	9	10
Daya(Wt)	685,68	685,68	685,68	685,68
Waktu 1x (h)	1,13	1,25	1,47	1,67
Banyak running	10,59	9,60	8,16	7,20
W(wh)	776,88	857,10	1007,95	1142,82
W(kwh)	0,78	0,86	1,01	1,14
Tarif per kWh	880	880	880	880
Bp satu kali (Rp)	683,65	754,25	887,00	1005,68
Bp permalam (Rp)	6836,50	6788,23	7982,96	7039,79
Volume produksi 1 malam	50	63	72	70
Rasio harga(Rp/L)	136,73	107,75	110,87	100,57

4.2. Analisa

4.2.1. Analisa Perbandingan Waktu Pendinginan

Berdasarkan perhitungan di atas dapat dilihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk proses pendinginan air laut pada malam hari relatif lebih singkat dibandingkan pada siang hari. Gambar 4.11 adalah grafik perbandingan waktu pendinginan air laut dengan variasi data yang dilakukan.



Gambar 4.4. Perbandingan volume air laut terhadap waktu pendinginan

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa waktu pendinginan pada siang hari relatif lebih cepat dibandingkan dengan malam hari. Selain itu, perbedaan volume air laut yang didinginkan juga mempengaruhi temperatur pembentukan *ice slurry*.

- Pada volume 5 liter, waktu pendinginan pada siang hari adalah 77 menit (1 jam 17 menit). Sedangkan pada malam hari waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan air laut selama 67 menit (1 jam 7 menit).
- Pada volume 7 liter, waktu pendinginan air laut pada siang adalah hari selama 78 menit (1 jam 18 menit). Sedangkan pada malam hari, waktu pendinginannya selama 75 menit (1 jam 15 menit)

- c. Pada volume 9 liter, waktu pendinginan air laut pada siang hari adalah selama 88 menit (1 jam 88 menit) Sedangkan pada malam hari, waktu pendinginannya juga 88 menit (1 jam 28 menit).
- d. Pada volume 10 liter, waktu pendinginan air laut pada siang hari adalah selama 103 menit (1 jam 43 menit) sedangkan pada malam hari, waktu pendinginannya selama 100 menit (1 jam 40 menit).

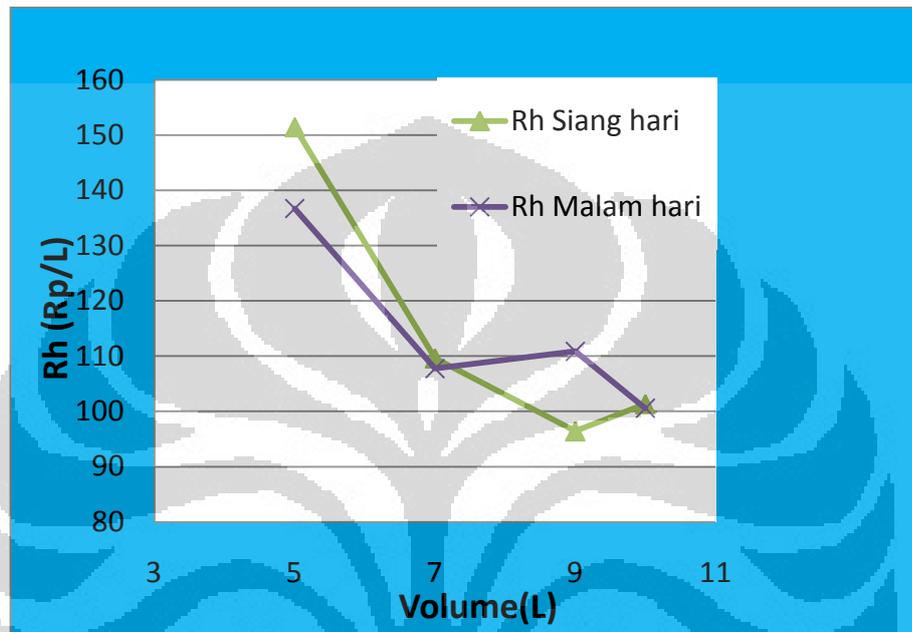
Berdasarkan data di atas, terlihat bahwa waktu pendinginan paling cepat pada siang hari terjadi saat volume air laut 5 liter dengan waktu pendinginan 77 menit dan waktu terlama terjadi saat pendinginan air pada volume 10 liter dengan waktu pendinginan 103 menit . Pada malam hari , waktu pendinginan paling cepat pada siang hari terjadi saat volume air laut 5 liter dengan waktu pendinginan 67 menit dan waktu terlama terjadi saat pendinginan air pada volume 10 liter dengan waktu pendinginan 100 menit .

Dalam hasil yang telah diperoleh , terlihat bahwa semakin banyak jumlah air yang didinginkan pada sistem yang sama, maka waktu pendinginan air laut akan semakin lama . Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti daya tampung dari tangki generator dan letak evaporator . semakin banyak air laut yang akan didinginkan maka beban pendinginannya akan semakin banyak sehingga waktu pendinginan air laut akan semakin lama. Selain itu, letak evaporator pada tangki generator tidak penuh sampai ke atas . sehingga jika semakin banyak air yang didinginkan, maka ada bagian dari air laut yang tidak kontak dengan evaporator.

4.2.2. Analisa Penggunaan Energi dan Biaya

Besarnya energi yang dibutuhkan untuk membuat *ice slurry* sangat bergantung dengan waktu pendinginan. Semakin lama waktu pendinginan maka energi yang dibutuhkan akan semakin besar. Sebaliknya, semakin cepat proses pendinginan maka energi yang digunakan akan semakin kecil. Dari gambar 4.9 dan 4.10 terlihat bahwa baik siang maupun malam ,jumlah energi terbesar terjadi pada volume 10 liter yang kedua pada volume 5 liter dan yang terkecil pada volume 7 dan 9 liter.

Untuk mengetahui nilai keefektifan dari kerja *slurry ice generator*, maka perbandingan antara biaya yang dikeluarkan untuk melakukan pengoperasian dengan volume yang dihasilkan selama siang atau malam hari. Berdasarkan tabel 4.3 diatas maka perbandingan rasio harga (Rp/L) untuk tiap pengoperasian pada masing-masing volume adalah sebagai berikut:



Gambar 4.5. Perbandingan Rasio Harga pada Pengoperasian

Berdasarkan grafik rasio harga di atas, terlihat bahwa dengan tangki generator yang digunakan maka *ice slurry* generator paling efektif mendinginkan air laut dengan volume 9 liter pada siang hari dan 10 liter pada malam hari. Jika diakumulasikan biaya siang dan malamnya, maka biaya yang dihabiskan pada kedua volume tersebut berdasarkan tabel 4.3 adalah

Biaya total yang dihasilkan

$$\begin{aligned}
 B_t &= B_{\text{siang}} + B_{\text{malam}} \\
 &= \text{Rp } 6942.08 + \text{Rp } 7039.29 \\
 &= \text{Rp } 13.981,27 \approx \text{Rp } 14.000
 \end{aligned}$$

Volume yang dihasilkan sebesar:

$$\begin{aligned} V_t &= 72 \text{ liter} + 70 \text{ liter} \\ &= 142 \text{ liter} \end{aligned}$$

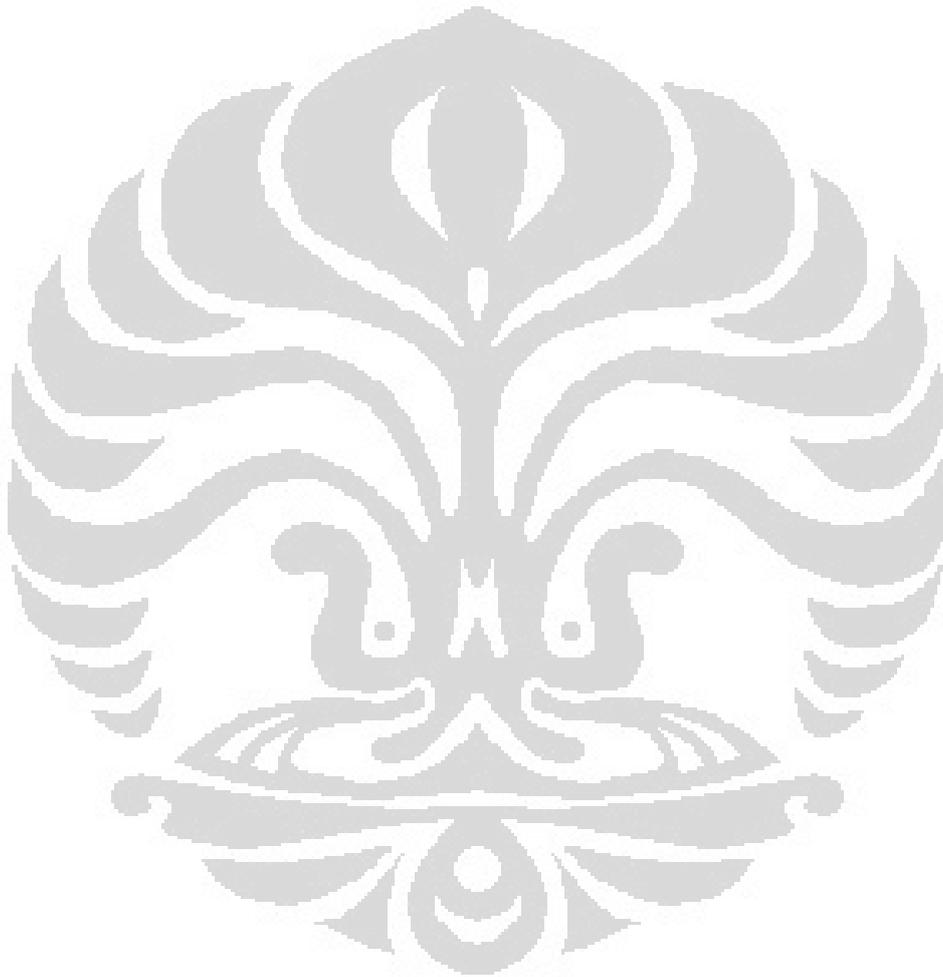
4.2.3. Analisa Kesalahan

Pada penelitian ini, ada beberapa kemungkinan kesalahan yang dapat terjadi. Kemungkinan terbesar penyebab tidak validnya data yang dihasilkan adalah:

- Pengukuran tegangan listrik dengan menggunakan voltmeter yang kurang presisi. Hal ini terlihat saat pembacaan nilai tegangan yang tidak stabil. Ada dua kemungkinan yang menyebabkan ini terjadi, pertama karena voltmeternya yang kurang baik, kedua karena kesalahan pembacaan. Dan ketiga karena ketidak stabilan tegangan yang ada di tempat pengujian. Pada saat pengujian dilakukan menunjukkan bahwa voltase malam hari sebesar 210 volt lebih besar dibandingkan pada siang hari yang sebesar 200 volt. Peristiwa ini menyebabkan hasil pengukuran kurang akurat. Untuk meminimalisir kesalahan ini maka pada perhitungan
- Jumlah dan letak *termocouple*
 Pada penelitian ini, penulis menggunakan 5 buah termokopel(2 pada sebelum dan sesudah katup ekspansi, 2 pada sebelum dan sesudah kompressor, dan 1 pada bagian bawah tangki generator). Dilihat dari jumlah termocouple pada tangki generator, tampaknya masih terlalu sedikit karena sepertinya kemungkinan terjadi variasi temperatur dalam tangki sangat besar.
- Kesalahan pembacaan
 Kesalahan ini dapat terjadi saat melakukan pembacaan nilai pada *pressure gauge*, tachometer, dan voltmeter. Penyebab kesalahan ini contohnya adalah kesalahan arah pandang dan ketidak telitian pembaca skala.

- Kesalahan instrumensasi

Kesalahan yang terjadi juga dapat diakibatkan oleh komponen yang tidak dapat berfungsi dengan baik. Pada penelitian ini, kemungkinan besar kesalahan instrumensai terjadi pada kondenser dan kipas pendingin kondenser yang kurang baik. Sehingga menyebabkan data yang diperoleh kurang valid.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

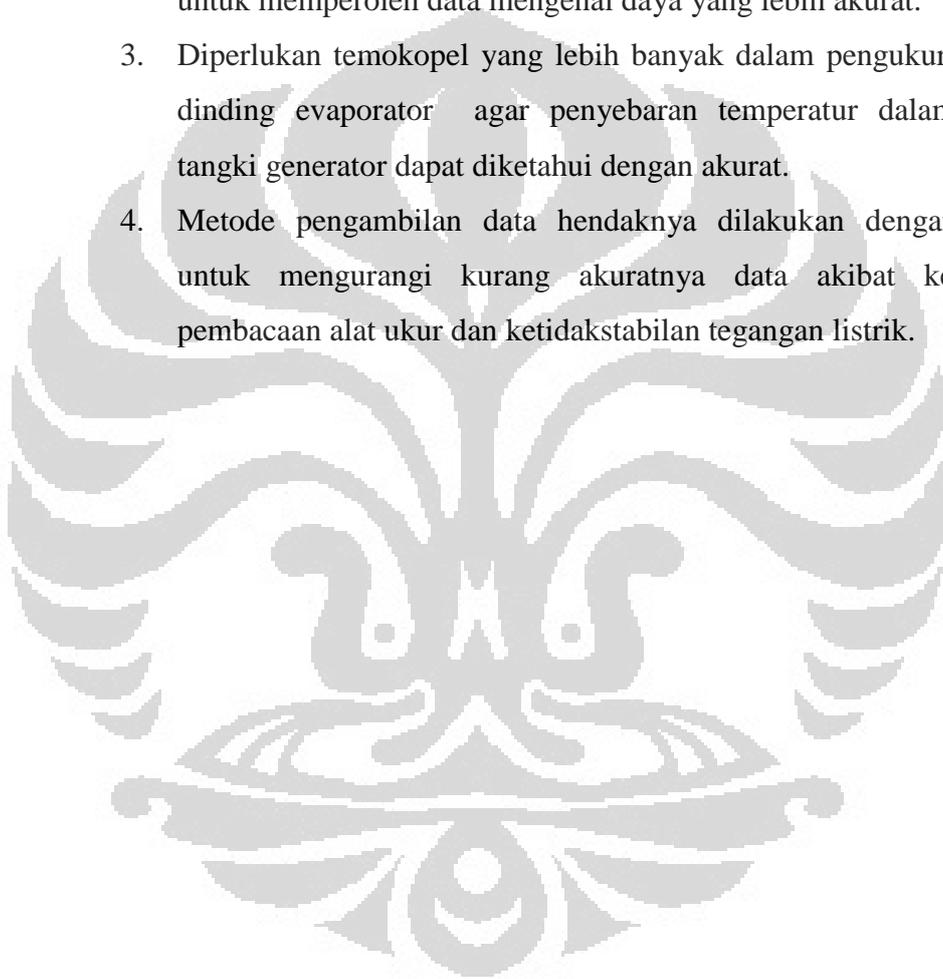
Berdasarkan pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan, maka dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan tangki generator pada pengujian maka:

1. Jumlah volume air laut yang didinginkan sangat mempengaruhi kecepatan waktu produksi *ice slurry*. Semakin banyak beban pendinginan akan membuat waktu pendinginan lebih lama karena beban pendinginanya lebih besar.
2. Kecepatan waktu pendinginan mempengaruhi jumlah energi yang dihabiskan untuk memproduksi *ice slurry*. Semakin lama waktu pendinginan, maka energi yang dihabiskan akan semakin besar. Artinya, semakin banyak energi yang dihabiskan, maka biaya untuk membuat *ice slurry* juga makin banyak. Dari penelitian didapatkan bahwa energi penggunaan paling banyak terjadi saat *ice slurry* generator mendinginkan air laut dengan volume 10 liter pada malam hari. Energi yang dihabiskannya adalah sebesar 4.038,41 kJ.
3. Hubungan biaya dan banyak volume *ice slurry* yang dihasilkan dilambangkan dengan rasio perbandingan biaya per volume yang dihasilkan dalam sehari. Semakin kecil rasio nya maka biaya pembuatan akan semakin kecil dengan jumlah *ice slurry ice slurry* yang dihasilkan semakin banyak.
4. Pada siang hari biaya operasi termurah terjadi pada saat beban operasi 9 liter dengan rasio harga 96.42Rp/L dan biaya operasi termahal terjadi saat beban operasi 5 liter dengan rasio harga 151.47 Rp/L
5. Pada malam hari biaya operasi termurah terjadi pada saat beban operasi 9 liter dengan rasio harga 100.57 Rp/L dan biaya operasi

termahal terjadi saat beban operasi 5 liter dengan rasio harga 136.73 Rp/L

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan modifikasi pada evaporator dan kondenser agar proses pendinginan berlangsung lebih cepat.
2. Penelitian dilakukan pada tempat dengan tegangan yang lebih stabil untuk memperoleh data mengenai daya yang lebih akurat.
3. Diperlukan termokopel yang lebih banyak dalam pengukuran pada dinding evaporator agar penyebaran temperatur dalam ruang tangki generator dapat diketahui dengan akurat.
4. Metode pengambilan data hendaknya dilakukan dengan benar untuk mengurangi kurang akuratnya data akibat kesalahan pembacaan alat ukur dan ketidakstabilan tegangan listrik.



DAFTAR PUSTAKA

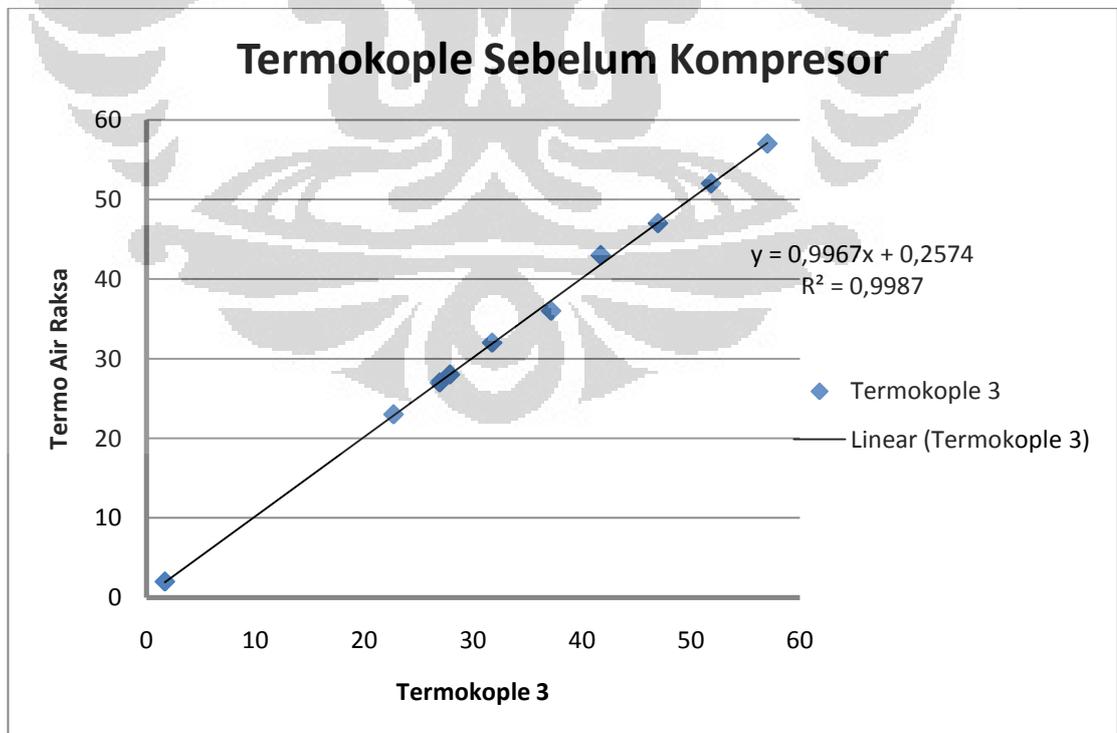
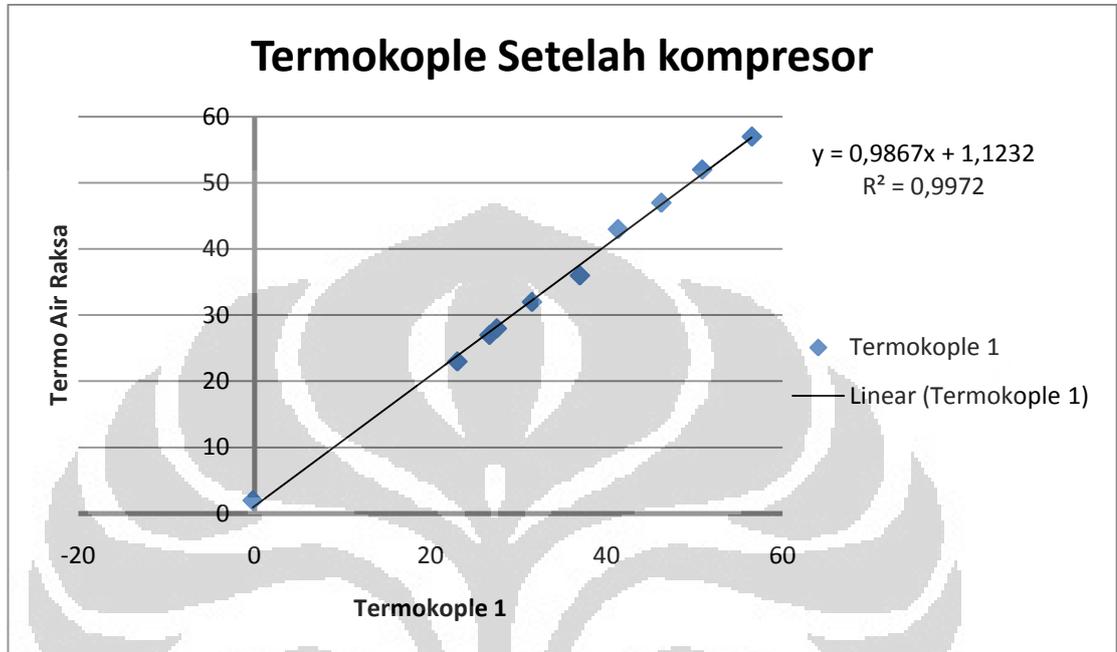
- [1] J.Graham, W.A. Johnson, F.J. Nicholson. 1992. "*Ice in Fisheries*". Torrey Research Station: Aberdeen,United Kingdom.
- [2] Kauffeld.M, Wang.M.J, Goldstein.V, Kasza.K.E. 2010." *Ice slurry application*". International Journal of Refrigeration
- [3] Dalimunthe.Indra .2004. "Pengantar Teknik refrigerasi". USU digital Library: Medan , Indonesia
- [4] kuehn,Thomas H., Ramsey,James W., Threlkeld, James L.1998. "*Thermal Environmental Engineering 3rd Edition*". Prentice Hall : New Jersey,USA
- [5] Cloutier,Matthew. 2002. "*Refrigeration Cycle*"
- [6] Wang, S.K., Lavan, Z.1999. "*Air-Conditioning and Refrigeration*". Boca Raton: CRC Press LLC
- [7] Bellstedt, Michael,et al. 2004."An Annual Power Cost Comparison Of Conventional and Ice Slurry System Indicates Impressive Potensial Saving for Abbatoir Refrigeration",. Sydney
- [8] Kiswanto. 2008."Rancang Bangun Scraper dan Analisis Pengaruh Scraper terhadap Performa Ice Slurry Generator". Depok : Departement Teknik Mesin UI.
- [9] <http://diskusiku.com/showthread.php?tid=707> diunduh tanggal 26 mei 2011 pukul 10.51 Wib.
- [10] Curriculum in Marine Science..2004. "*Density and Salinity*". Los Angles: University of california
- [11] Kiani,hossen.Son,Da-wen.2011. " *Water crystallization and its importance to freezing of foods* ".
- [12] whitman,Johnson,Tomcryzk.2000. "*Refrigeration and Air Conditioning Technology 4th Edition*".Delmar,USA
- [13] Khurmi,R.Sghupta.1980. "*Machine Design*". Eurasia Publishing House:New Delhi,India
- [14] Koestoer, Raldi Artono.2003. "*Pengukuran Teknik*". Jakarta,Indonesia
- [15] Dossat,Roy J. 1997. "*Principle of Refrigeration*"

- [16] <http://fapetunsrat.blogspot.com/2011/01/pembekuan-telur.html>
- [17] Hartel, R. (2001). Crystallization in foods. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers.
- [18] Mullin, J. W. (2001). Crystallization, (4nd ed.). London: Butterworths.
- [19] Putra,Nandy, Permana.Angga, Jatmika,I made Arya. 2006.”Rancang Bangun dan Karakterisasi Ice Slurry Generator”. Depok:Departement Teknik Mesin Universitas Indonesia
- [20] Putra,Nandy , Noviandra,H, and Adiprana,R.2004. “ Measurement of Heat Transfer Coefficient of Ice Slurry with Plate Heat Exchanger” . Jakarta: Department of Mechanical Engineering University of Indonesia

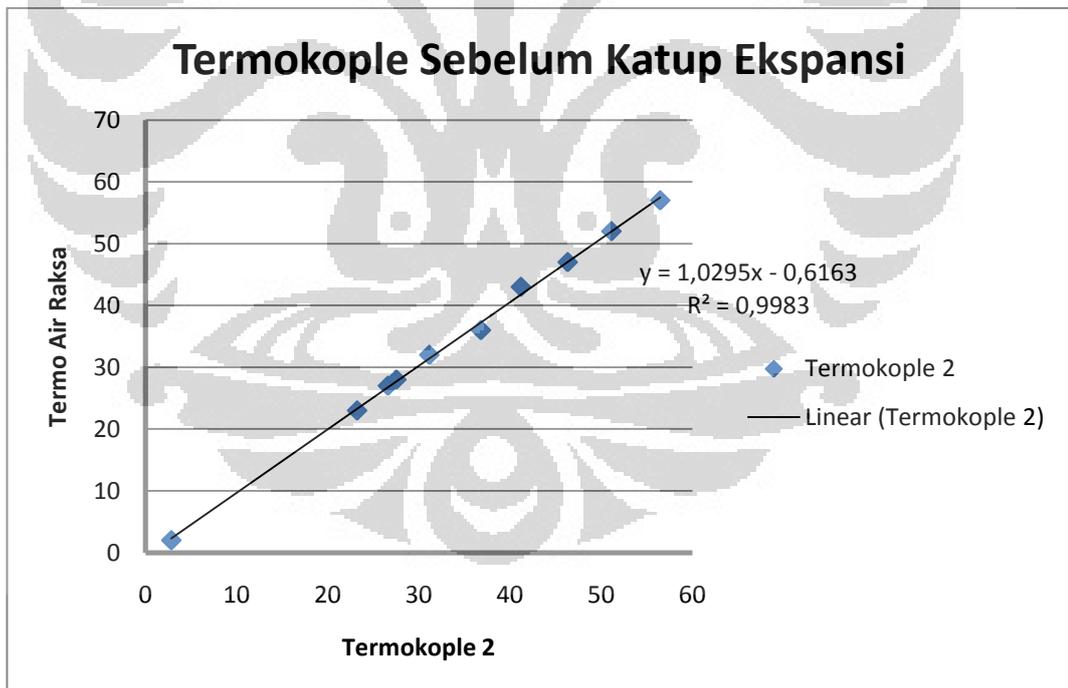
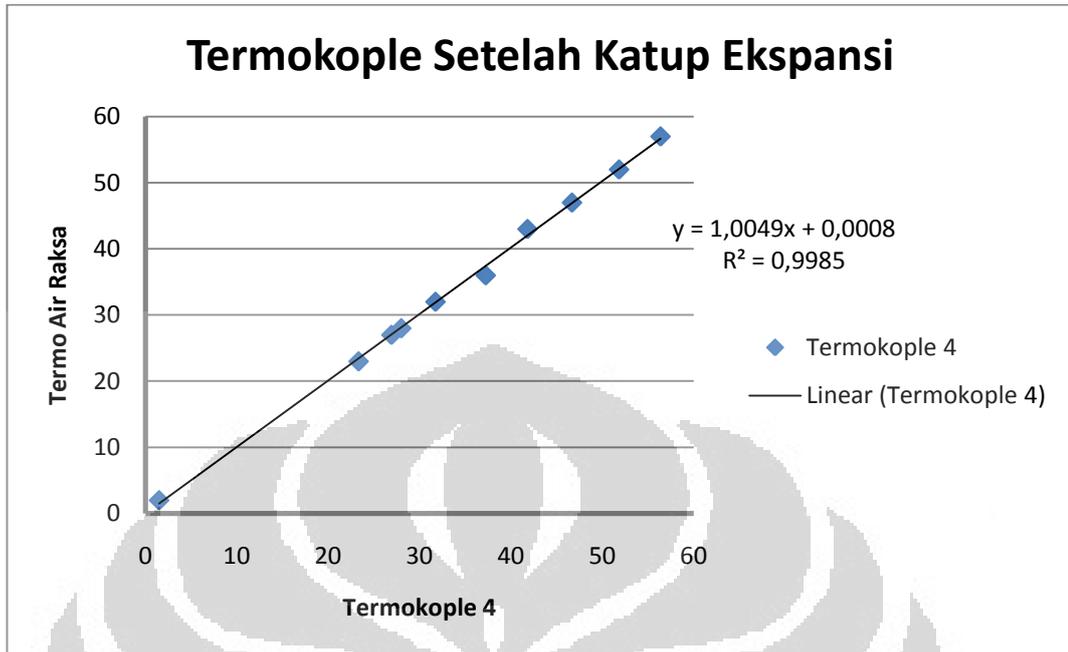


Lampiran

Lampiran 1: Kalibrasi Termokopel



Lanjutan



Lampiran 2: Data Pengujian

Lampiran Data Siang Hari

- Hasil Pengambilan Data pada Pendinginan Air Laut dengan Volume 5 L
Data diambil hari Kamis 14 juni 2011 dari pukul 10.20 hingga 11.57 WIB.

- *Data Temperatur yang Dikukur oleh Termokopel*

Time (Menit ke-)	Temperatur (o C)				
	Sebelum kompresor	Setelah kompresor	Sebelum Ekspansi	Setelah Ekspansi	Evaporator
1	0,61	56,77	26,58	-27,13	20,42
5	-12,29	57,21	26,83	-27,49	17,37
10	-13,87	61,48	28,87	-26,31	14,44
15	-12,59	59,96	29,00	-26,65	11,81
20	2,34	68,64	31,60	-23,45	9,27
25	5,13	65,01	28,70	-26,48	5,59
30	0,51	65,74	26,22	-26,51	2,25
35	-9,86	69,20	26,69	-25,90	-1,22
40	-11,54	70,45	26,94	-26,80	-2,01
45	-22,87	72,37	28,51	-24,74	-2,08
50	-24,80	73,91	31,13	-23,37	-2,15
55	-24,99	74,08	30,82	-23,44	-2,23
60	-14,26	72,93	28,88	-25,00	-2,32
65	-25,56	73,37	29,30	-24,25	-2,40
70	-21,03	70,43	28,62	-25,45	-2,48
75	-9,91	71,46	27,14	-26,43	-2,52
77	-10,13	71,51	27,22	-26,31	-2,53

- *Data pengukuran tekanan , putaran , voltase dan arus listrik*

Menit ke	P Set Kom (psi)	P Seb Eks (psi)	P Set Eks (psi)	P Seb Kom (psi)	Arus Kom (A)	Tegangan Kom (V)	Putaran Motor (RPM)	Arus kipas(A)	Arus Motor (A)	Tegangan Mot (V)
0	160	155	16	15	2,2	200	0	0,3	0	0
5	160	155	16	13	2	200	0	0,3	0	0
10	165	155	15	12	2	200	0	0,3	0	0
15	170	160	16	12	2,1	200	0	0,3	0	0
20	165	160	16	12	2,1	200	0	0,3	0	0
25	180	175	20	15	2,1	200	122	0,3	2,9	180
30	170	165	17	12	2,1	200	123	0,3	1,5	180
35	155	150	16	13	2	200	123	0,3	1,5	180
40	160	155	17	13	2,1	200	124	0,1	1,5	180
45	160	155	16	12	2,1	200	122	0,1	1,5	180

50	160	155	16	13	2,1	200	122	0,1	1,5	180
55	160	155	16	14	2,1	200	122	0,1	1,5	180
60	175	160	20	15	2,1	200	122	0,1	1,5	180
65	165	165	19	14	2,1	200	122	0,1	1,5	180
70	160	155	16	14	2,1	200	122	0,1	1,6	180
75	170	160	17	15	2,2	200	121	0,1	1,7	180
77	175	170	18	15	2,3	200	121	0,1	1,6	180

- Hasil Pengambilan Data pada Pendinginan Air Laut dengan Volume 7 L

Data diambil hari Kamis 14 juni 2011 dari pukul 14.37 hingga 15.55 WIB.

- *Data Temperatur yang Diukur oleh Termokopel*

Time (Minute)	Temperatur (o C)				
	sbelum kom	Setelah kompresor	Sebelum Ekspansi	setelah Ekspansi	Evaporator
1	5,97	56,33	30,16	-24,42	22,31
5	4,39	60,27	29,43	-25,05	19,89
10	-1,69	64,89	29,26	-24,93	16,82
15	-10,40	68,04	29,55	-24,78	13,81
20	-1,76	68,84	28,01	-24,60	13,53
25	6,44	72,84	28,60	-25,02	9,59
30	3,92	74,62	29,09	-24,26	6,38
35	-4,57	77,20	31,04	-23,06	3,18
40	-8,48	72,95	27,80	-26,67	0,32
45	-6,24	72,11	28,08	-26,35	-1,91
50	-3,45	74,07	28,98	-25,57	-1,99
55	-0,90	72,58	26,68	-26,97	-2,03
60	-3,67	73,75	26,88	-27,03	-2,13
65	-5,56	75,91	27,81	-25,58	-2,26
70	-5,70	76,07	27,65	-26,16	-2,20
75	-12,35	77,89	28,73	-24,59	-2,48
78	-24,42	80,18	31,49	-23,50	-2,54

- *Data pengukuran tekanan , putaran , voltase dan arus listrik*

Menit ke	P Set Kom (psi)	P Seb Eks (psi)	P Set Eks (psi)	P Seb Kom (psi)	Arus Kom (A)	Tegangan Kom (V)	Putaran Motor (RPM)	arus kipas(A)	Arus Motor (A)	Tegangan Mot (V)
0	175	155	15	15	2	200	0	0,3	0	0
5	160	155	15	12	2	200	0	0,3	0	0
10	160	155	15	12	2	205	0	0,3	0	0
15	165	160	17	14	2,1	200	0	0,3	0	0
20	170	160	20	16	2,2	200	126	0,3	1,7	180
25	160	155	17	14	2	200	130	0,3	1,5	180
30	170	165	20	16	2,1	200	130	0,3	1,5	180
35	170	160	19	15	2,1	200	129	0,3	1,6	180
40	170	160	19	15	2,2	200	129	0,3	1,6	180
45	170	165	19	15	2,1	200	130	0,3	1,5	180
50	165	150	14	15	1,9	200	129	0,3	1,5	180
55	160	160	17	13	2,1	200	129	0,3	1,5	180
60	160	160	17	14	2,1	200	129	0,1	1,7	180
65	175	160	16	15	2	200	129	0,1	1,6	180
70	160	155	17	14	2,1	200	128	0,1	1,6	180
75	180	155	20	14	2,3	200	128	0,1	1,7	180

• Hasil Pengambilan Data pada Pendinginan Air Laut dengan Volume 9 L

Data diambil hari Kamis 15 Juni 2011 dari pukul 11.38 hingga 13.06 WIB.

- *Data Temperatur yang Diukur oleh Termokopel*

Time (Minute)	Temperatur (o C)				
	sbelum kom	Setelah kompresor	Sebelum Ekspansi	setelah Ekspansi	Evaporator
1	16,44	50,72	27,53	-24,52	22,67
5	10,41	57,38	27,44	-25,01	19,69
10	8,57	62,02	27,52	-24,82	16,63
15	4,57	65,31	27,22	-25,16	13,66
20	0,44	68,30	27,63	-24,87	12,67
25	9,50	72,56	27,51	-25,08	10,74
30	7,12	71,86	26,60	-25,19	7,82
35	1,87	72,92	26,41	-26,02	5,02
40	-10,97	79,63	30,67	-23,04	2,33
45	-9,66	77,04	28,83	-23,78	-0,02
50	-11,20	77,83	28,32	-25,57	-2,03
55	-10,45	77,08	27,36	-26,84	-2,07
60	-4,98	76,30	26,81	-25,82	-2,11

65	-6,85	71,59	26,51	-26,57	-2,19
70	-6,33	74,95	26,68	-25,74	-2,24
75	-8,29	74,88	27,08	-26,40	-2,32
80	-7,56	76,56	27,03	-25,76	-2,38
85	-22,17	80,53	30,94	-23,74	-2,46
88	-3,87	73,31	26,35	-25,85	-2,51

- *Data pengukuran tekanan , putaran , voltase dan arus listrik*

Menit ke	P Set Kom (psi)	P Seb Eks (psi)	P Set Eks (psi)	P Seb Kom (psi)	Arus Kom (A)	Tegangan Kom (V)	Putaran Motor (RPM)	arus kipas(A)	Arus Motor (A)	Tegangan Mot (V)
0	160	155	17	14	2,4	200	0	0,3	0	0
5	160	160	19	15	2,4	200	0	0,3	0	0
10	165	165	19	15	2,3	200	0	0,3	0	0
15	165	160	17	15	2,3	200	0	0,3	0	0
20	160	155	18	14	2,2	200	128	0,3	1,8	180
25	165	155	18	15	2,3	200	129	0,3	1,7	180
30	160	165	19	15	2,3	200	129	0,3	1,6	180
35	160	160	19	15	2,2	200	129	0,3	1,6	180
40	160	155	17	15	2,1	200	129	0,3	1,6	180
45	170	155	17	16	2,2	200	130	0,3	1,6	180
50	160	155	17	14	2,2	200	131	0,3	1,6	180
55	160	155	17	15	2,1	200	130	0,3	1,6	180
60	165	160	18	15	2,2	200	131	0,3	1,6	180
65	160	155	17	15	2,1	200	130	0,3	1,6	180
70	165	160	17	16	2,2	200	131	0,3	1,6	180
75	160	155	17	14	2,1	200	131	0,3	1,6	180
80	160	155	17	15	2,1	200	130	0,3	1,6	180
85	155	155	16	15	2,1	200		0,3	1,7	180

- Hasil Pengambilan Data pada Pendinginan Air Laut dengan Volume 10 L
Data diambil hari Kamis 14 juni 2011 dari pukul 14.05 hingga 15.48 WIB.

- *Data Temperatur yang Diukur oleh Termokopel*

Time (Minute)	Temperatur (o C)				
	Sebelum kompresor	Setelah kompresor	Sebelum Ekspansi	Setelah Ekspansi	Evaporator
1	24,54	44,69	27,05	-26,65	24,75
5	17,67	53,04	26,40	-26,13	21,84
10	13,64	59,81	26,69	-25,36	18,88
15	10,79	63,24	26,53	-26,20	16,13
20	1,13	67,81	26,56	-27,19	12,82
25	0,87	73,37	30,72	-22,69	13,43
30	7,52	72,40	26,72	-27,60	10,52
35	6,79	75,82	26,86	-26,74	7,91
40	3,26	78,69	28,30	-24,56	5,40
45	4,37	76,65	26,64	-26,40	3,15
50	2,46	77,68	27,04	-26,13	1,13
55	-1,87	77,45	26,76	-27,24	-0,84
60	-15,54	80,82	28,21	-24,38	-2,31
65	-8,56	80,18	27,27	-25,09	-2,08
70	-24,05	82,36	30,20	-23,61	-2,13
75	-8,72	81,42	30,32	-23,99	-2,18
80	-4,96	79,61	27,02	-25,36	-2,23
85	-4,73	79,56	26,77	-25,86	-2,30
90	-5,95	79,73	26,70	-25,88	-2,36
95	-5,55	79,60	28,47	-25,87	-2,44
100	-20,12	81,86	29,11	-24,11	-2,51
103	-24,39	82,85	30,48	-23,54	-2,53

- *Data pengukuran tekanan , putaran , voltase dan arus listrik*

Menit ke-	P Set Kom (psi)	P Seb Eks (psi)	P Set Eks (psi)	P Seb Kom (psi)	Arus Kom (A)	Tegangan Kom (V)	Putaran Motor (RPM)	arus kipas(A)	Arus Motor (A)	Tegangan Mot (V)
0	150	150	15	15	2,4	200	0	0,3	0	0
5	155	150	15	14	2,3	200	0	0,3	0	0
10	160	150	14	15	2	200	0	0,3	0	0
15	160	155	16	14	2,1	200	0	0,3	0	0
20	165	160	18	15	2,1	200	0	0,3	0	0
25	170	165	18	15	2,2	200	128	0,3	1,7	0
30	160	155	18	12	2,4	200	128	0,3	1,7	0

35	165	160	18	16	2,3	200	129	0,1	1,6	0
40	165	165	18	15	2,3	200	128	0,1	1,6	0
45	155	155	15	12	2	200	129	0,1	1,6	0
50	160	155	15	11	2	200	130	0,1	1,6	180
55	175	155	17	16	2	200	129	0,1	1,6	180
60	160	160	18	15	2,1	200	129	0,1	1,6	180
65	160	155	17	15	2,1	200	130	0,1	1,6	180
70	170	160	18	15	2,3	200	130	0,1	1,6	180
75	165	160	17	14	2,1	200	130	0,1	1,6	180
80	160	155	17	14	2,1	200	129	0,1	1,6	180
85	160	150	15	13	2,1	200	129	0,1	1,5	180
90	160	155	15	15	2	200	128	0,1	1,7	180
95	165	160	16	13	2,1	200	129	0,1	1,7	180
100	160	160	17	14	2,1	200	129	0,1	1,6	180
103	180	175	18	16	2,3	200	127	0,1	1,7	180



Lampiran Pengambilan Data Malam Hari

- Hasil Pengambilan Data pada Pendinginan Air Laut dengan Volume 5 L

Data diambil hari Kamis 14 juni 2011 dari pukul 21.28 hingga 22.35 WIB

- *Data Temperatur yang Dikukur oleh Termokopel*

Time (Minute)	Temperatur (o C)				
	Sebelum kompresor	Setelah kompresor	Sebelum Ekspansi	Setelah Ekspansi	Evaporator
1	23,24	44,66	26,37	-27,75	26,59
5	-0,30	53,89	28,07	-26,46	22,44
10	-2,62	57,66	26,85	-28,85	18,66
15	-14,15	62,69	27,93	-26,80	15,78
20	-3,72	62,77	26,86	-28,77	12,86
25	-9,98	68,08	27,21	-26,27	11,54
30	5,55	69,37	27,14	-26,73	7,25
35	1,38	71,53	27,28	-26,24	3,44
40	-8,03	74,88	29,84	-24,74	-0,18
45	-5,14	73,25	26,98	-26,84	-2,02
50	-5,96	73,16	26,75	-26,75	-2,12
55	-9,92	75,10	27,12	-26,37	-2,23
60	-6,54	75,13	26,95	-26,69	-2,33
65	-18,46	77,00	27,47	-26,90	-2,44
68	-8,46	75,92	27,16	-26,44	-2,55

- *Data pengukuran tekanan , putaran , voltase dan arus listrik*

Menit ke	P Set Kom (psi)	P Seb Eks (psi)	P Set Eks (psi)	P Seb Kom (psi)	Arus Kom (A)	Tegangan Kom (V)	Putaran Motor (RPM)	arus kipas(A)	Arus Motor (A)	Tegangan Mot (V)
0	155	150	14	10	2,1	210	0	0,3	0	0
5	170	160	17	14	2,1	210	0	0,3	0	0
10	155	155	15	11	1,9	210	0	0,3	0	0
15	170	160	15	14	2,1	210	0	0,3	0	0
20	160	155	15	11	1,9	210	0	0,3	0	0
25	160	155	16	13	2	210	126	0,3	1,5	180
30	160	155	16	13	2	210	127	0,3	1,6	180
35	165	160	17	14	2	210	127	0,3	1,6	180
40	160	155	14	12	1,9	210	126	0,3	1,6	180
45	160	155	12	15	2	210	126	0,3	1,6	180
50	160	155	16	12	2	210	127	0,3	1,6	180
55	160	155	15	12	2	210	126	0,3	1,6	180
60	165	160	14	15	2,1	210	126	0,3	1,6	180
65	160	155	16	12	2,1	210	125	0,3	1,7	180

- Hasil Pengambilan Data pada Pendinginan Air Laut dengan Volume 7 L

Data diambil hari Kamis 15 juni 2011 dari pukul 24.18 hingga 1.33 WIB

- *Data Temperatur yang Diukur oleh Termokopel*

Time (Minute)	Temperatur (o C)				
	sebelum kom	Setelah kompresor	Sebelum Ekspansi	setelah Ekspansi	Evaporator
1	17,77	53,93	26,05	-27,47	25,23
5	5,18	60,92	27,09	-25,59	21,96
10	0,69	65,19	26,42	-27,38	18,00
15	-10,32	68,19	27,62	-25,30	15,16
20	-8,50	69,17	26,88	-26,17	12,30
25	4,43	73,83	27,88	-24,02	11,39
30	3,78	75,47	28,16	-24,02	7,64
35	-1,03	75,79	27,38	-25,41	4,27
40	-2,11	75,44	26,74	-26,08	1,16
45	-21,68	78,08	28,14	-24,88	-1,66
50	-24,26	78,50	29,12	-24,06	-2,11
55	-21,55	77,16	28,32	-24,84	-2,18
60	-13,14	77,03	27,26	-26,30	-2,26
65	-7,66	74,57	26,96	-26,31	-2,35
70	-7,32	76,25	27,13	-25,61	-2,43
75	-10,19	77,38	27,21	-25,42	-2,54

- *Data pengukuran tekanan , putaran , voltase dan arus listrik*

Menit ke	P Set Kom (psi)	P Seb Eks (psi)	P Set Eks (psi)	P Seb Kom (psi)	Arus Kom (A)	Tegangan Kom (V)	Putaran Motor (RPM)	Arus kipas(A)	Arus Motor (A)	Tegangan Mot (V)
0	155	150	14	12	2,1	210	0	0,3	0	0
5	165	160	14	15	2,2	210	0	0,3	0	0
10	155	160	16	13	2,1	210	0	0,3	0	0
15	170	160	18	15	2,2	210	0	0,3	0	0
20	165	155	17	14	2	210	0	0,3	0	0
25	165	155	17	15	2,1	210	128	0,3	1,7	0
30	160	155	17	14	2,1	210	131	0,3	1,7	180
35	170	160	20	16	2,2	210	131	0,3	1,7	180
45	160	155	15	15	2,1	210	131	0,3	1,6	180
50	160	155	15	14	2,1	210	131	0,3	1,6	180
55	160	160	17	15	2,1	210	131	0,3	1,7	180
60	160	155	17	14	2,1	210	131	0,3	1,6	180
65	165	160	18	15	2,1	210	130	0,3	1,7	180
70	160	160	17	15	2,1	210	129	0,3	1,7	180

75	160	160	17	15	2,1	210	0	0,3	1,8	180
----	-----	-----	----	----	-----	-----	---	-----	-----	-----

- Hasil Pengambilan Data pada Pendinginan Air Laut dengan Volume 9 L

Data diambil hari Kamis 15 juni 2011 dari pukul 21.07 hingga 22.35 WIB

- *Data Temperatur yang Diukur oleh Termokopel*

Menit ke-	Temperatur (o C)				
	Sebelum kompressor	Setelah kompressor	Sebelum Ekspansi	setelah Ekspansi	Evaporator
1	21,11	47,52	25,26	-27,04	24,54
5	15,51	54,98	25,39	-26,72	21,68
10	10,90	60,40	25,90	-26,49	18,63
15	3,71	63,97	25,89	-26,84	15,19
20	-3,68	68,58	27,12	-25,67	12,31
25	4,18	73,78	29,78	-22,93	12,44
30	7,90	73,04	27,12	-24,74	9,33
35	4,59	74,84	26,63	-25,10	6,30
40	-1,37	76,60	27,19	-25,52	3,47
45	-0,54	75,41	26,50	-26,29	0,98
50	-5,57	75,93	26,47	-26,72	-1,34
55	-7,40	76,91	26,79	-26,55	-2,06
60	-6,92	77,35	26,85	-26,40	-2,12
65	-6,62	77,67	27,09	-25,44	-2,17
70	-15,20	78,61	27,75	-27,22	-2,24
75	-5,61	77,13	26,58	-26,69	-2,31
80	-13,21	78,50	27,32	-26,44	-2,39
85	-24,64	81,06	29,92	-23,60	-2,47
88	-6,07	77,53	26,82	-26,52	-2,52

- *Data pengukuran tekanan , putaran , voltase dan arus listrik*

5 Menit ke	P Set Kom (psi)	P Seb Eks (psi)	P Set Eks (psi)	P Seb Kom (psi)	Arus Kom (A)	Tegangan Kom (V)	Putaran Motor (RPM)	arus kipas	Arus Motor (A)	Tegangan Mot (V)
0	150	150	14	12	2,2	210	0	0,3	0	0
5	155	150	15	12	2,1	210	0	0,3	0	0
10	160	155	13	14	2,1	210	0	0,3	0	0
15	155	160	16	13	2,1	210	0	0,3	0	0
20	160	155	15	14	2,1	210	126	0,3	1,8	180
25	160	160	15	15	2,2	210	128	0,1	1,7	180

30	165	160	15	15	2,1	210	128	0,2	1,7	180
35	160	155	17	15	2,1	210	128	0,1	1,7	180
40	160	155	17	15	2,1	210	128	0,1	1,7	180
45	160	160	17	15	2,1	210	128	0,1	1,7	180
50	160	160	17	15	2,1	210	128	0,2	1,6	180
55	160	150	17	15	2,1	210	129	0,1	1,6	180
60	160	155	17	14	2,1	210	129	0,1	1,6	180
65	165	175	20	16	2,3	210	129	0,1	1,6	180
70	160	165	17	14	2,1	210	129	0,1	1,6	180
75	160	165	17	14	2,1	210	128	0,2	1,6	180
80	165	165	19	15	2,1	210	128	0,1	1,6	180
85	160	155	16	14	2,1	210	128	0,1	1,7	180

- Hasil Pengambilan Data pada Pendinginan Air Laut dengan Volume 10 L
Data diambil hari Kamis 15 juni 2011 dari pukul 24.11 hingga 1.51 WIB
- *Data Temperatur yang Diukur oleh Termokopel*

Time (Minute)	Temperatur (o C)				
	Sebelum kompresor	Setelah kompresor	Sebelum Ekspansi	Setelah Ekspansi	Evaporator
1	24,16	27,37	27,02	25,31	28,57
5	24,49	37,12	28,25	-1,22	25,12
10	14,57	63,14	26,41	-26,76	19,32
15	3,77	70,68	29,73	-23,01	16,21
20	9,60	68,98	28,15	-26,70	13,75
25	3,97	72,66	27,30	-26,22	11,27
30	9,31	75,67	27,31	-25,22	11,59
35	2,79	81,79	31,41	-21,32	8,83
40	7,52	77,63	27,05	-24,96	6,46
45	4,23	78,43	27,03	-25,25	4,04
50	0,01	79,22	27,05	-25,67	1,79
55	-6,53	79,52	27,25	-25,27	-0,33
60	-4,69	78,01	26,76	-26,29	-2,28
65	-7,42	76,82	26,35	-26,65	-2,06
70	-15,95	78,40	27,56	-24,72	-2,12
75	-14,11	79,23	28,03	-24,64	-2,19
80	-24,51	80,44	29,84	-23,83	-2,25
85	-16,82	78,99	27,76	-24,81	-2,31
90	-8,77	78,01	27,15	-25,57	-2,38
95	-8,53	78,15	27,53	-25,42	-2,45
100	-12,27	77,99	27,28	-26,09	-2,52

- *Data pengukuran tekanan , putaran , voltase dan arus listrik*

Menit ke	P Set Kom (psi)	P Seb Eks (psi)	P Set Eks (psi)	P Seb Kom (psi)	Arus Kom (A)	Tegangan Kom (V)	Putaran Motor (RPM)	arus kipas	Arus Motor (A)	Tegangan Mot (V)
0	150	150	15	12	2,1	210	0	0,3	0	0
5	160	155	17	15	2,2	210	0	0,3	0	0
10	170	175	20	16	2,3	210	0	0,3	0	0
15	160	160	16	14	2,1	210	0	0,3	0	0
20	165	160	15	17	2,2	210	0	0,3	0	0
25	165	150	17	15	2,1	210	0	0,1	0	0
30	165	155	18	16	2,1	210	125	0,1	1,8	180
35	160	160	17	15	2,1	210	126	0,1	1,7	180
40	165	155	16	16	2	210	127	0,2	1,7	180
45	165	155	16	16	2,2	210	127	0,2	1,7	180
50	160	155	16	14	2,1	210	127	0,1	1,6	180
55	160	155	16	15	2,1	210	127	0,2	1,7	180
60	165	160	18	16	2,3	210	126	0,1	1,6	180
65	160	155	16	14	2,1	210	126	0,1	1,6	180
70	155	155	15	13	2,1	210	127	0,1	1,7	180
75	160	155	15	15	2,1	210	126	0,1	1,7	180
80	170	155	16	15	2,2	210	126	0,1	1,7	180
85	160	155	16	13	2,1	210	126	0,1	1,7	180
90	160	155	16	14	2,1	210	126	0,1	1,7	180
95	165	160	17	15	2,1	210	126	0,1	1,7	180
100	165	165	18	15	2,2	210	125	0,1	1,7	180